Aus dem Institut für Medizinische Psychologie
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. phil. E. Pöppel

SCHLAF-WACH-WECHSEL UND SCHLAFSTRUKTUR. DARSTELLUNG MIT HILFE EINES AMBULANTEN BEWEGUNGSMESSERS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Heinrich Leuthold

München

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. E. Pöppel

Mitberichterstatter: .....

Dekan: Prof. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Mai 1986

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. phil. E. Pöppel

SCHLAF-WACH-WECHSEL UND SCHLAFSTRUKTUR. DARSTELLUNG MIT HILFE EINES AMBULANTEN BEWEGUNGSMESSERS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Heinrich Leuthold

München

1985

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554801_0089

Meiner Frau

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1. Frühe Aspekte der Schlafforschung
1.2. Einführung des EEG
1.3. Bewegungsparameter in ontogenetischen Studien
1.4. Ergebnisse bewegungsorientierter Untersuchungen bei Erwachsenen
1.5. Methoden zur Erfassung motorischer Aktivität
1.5.1. Entwicklung des Aktographen
1.5.2. Heutiger Entwicklungsstand

2. Zielsetzung

3. Methode

3.1. Versuchspersonen
3.2. Versuchsdurchführung
3.2.1. Versuche im Schlaflabor
3.2.2. Versuche im Bunker
3.3. Datenregistrierung
3.3.1. Polygraphie
3.3.2. Erfassung von Körperbewegungen
3.4. Datenauswertung
3.4.1. Polygraphie
3.4.2. Aktometer
3.4.3. Schlaf - Wach - Phasen - Untersuchung unter Isolationsbedingungen (Bunker)
3.4.4. Schlafstrukturuntersuchung im Schlaflabor
3.4.5. Zuordnung von Körperbewegung zu REM - Episoden

3.4.6. Einschlaflatenz
3.4.7. Validitätstest von Daten des ambulanten Bewegungsmessers und des Bettaktographen

4. Ergebnisse

4.1. Verteilung von Körperbewegungen in Schlaf - Wach - Phasen unter Isolationsbedingungen
4.2. Zusammenhang zwischen nächtlicher Motorik und Schlafstruktur im Schlaflabor
4.3. Beziehung zwischen Körperbewegung und REM - Episoden
4.4 Einschlaflatenz
4.5. Validität von Daten des ambulanten Bewegungsmessers und des Bettaktographen

5. Diskussion

5.1. Untersuchungen unter Isolationsbedingungen (Bunker)
5.2. Körpermotorik und REM - Episoden
5.2.1. Schlafstrukturanalyse
5.2.2. Zusammenhang zwischen zentralnervöser Aktivierung und Körperbewegung im Schlaf
5.2.3. Periodik im Motilitätsverlauf
5.2.4. Motilitätsverlauf im Bereich der REM - Episoden
5.2.5. Intraindividuelle Stabilität im Bewegungsverhalten
5.3. Einschlaflatenz
5.4. Der Aktometer
5.4.1. Anwendungsmöglichkeiten

6. Zusammenfassung

7. Literaturangaben

1.

Einleitung

1.1.

Frühe Aspekte der Schlafforschung

Das Bild, das sich der Mensch vom Schlaf machte, war lange Zeit geprägt von der Auffassung, daß dieser einen Gegenentwurf zum Leben bedeute: so schreibt Homer, daß "der Schlaf ein Bruder des Todes" sei, und Cicero bezeichnet ihn als ein Bild des Todes ("somnus imago mortis"). Das Fehlen von Merkmalen des Wachzustandes, das Fehlen der Interaktion mit der Umwelt auf körperlicher und geistiger Ebene waren unter anderem Grundlagen dieser Annahme. Da der Schläfer selbst nur begrenzt Aussagen über den Schlafzustand treffen kann, sind objektive Erkenntnisse über das Leben im Schlaf dementsprechend erst möglich durch intensive Beobachtung des Schläfers von außen.

Die systematische Erforschung des Schlafs begann im 19. Jahrhundert. 1862 veröffentlichte Kohlschütter (12) die Ergebnisse seiner experimentalpsychologischen

Untersuchungen über die Schlaftiefe. In der Folgezeit wurden von einigen Untersuchern theoretische Konzepte über Schlaftiefe und Schlafqualität entwickelt, die auf der Messung spontaner Körperbewegung basiert. Dabei wurde von der Annahme ausgegangen, daß motorische Aktivität einen Störfaktor für den menschlichen Schlaf darstellt und die Schlafqualität mit sinkender motorischer Aktivität zunimmt (21).

Johnson et al (19) werteten zwischen 1926 und 1936 eine große Anzahl von Nächten von 90 Versuchspersonen statistisch aus. Bei ihren Untersuchungen fanden sie große interindividuelle Unterschiede bei Bewegungsmustern ihrer Testschläfer. Die Autoren schlossen aus ihren Daten, daß es keinen für alle Schläfer typischen Verlauf in der zeitlichen Verteilung von Bewegungen im Schlaf gibt. Die durchschnittliche Dauer der Ruheperioden (Schlafdauer ohne Bewegung) war für sie ein individuelles Charakteristikum eines Schläfers. Kleitman, Cooperman and Mullin, 1933 (22) konnten zusätzlich nachweisen, daß unabhängig vom individuellen Verteilungsmuster bei gesunden Probanden die bewegungslosen Zeiten hauptsächlich in der ersten Hälfte und erhöhte Motorik mehr in der zweiten Hälfte des Nachtschlafs anzutreffen sind.

In den nachfolgenden Jahren wurden Bewegungsverteilungen im Schlaf unter vielfältigen Bedingungen und verschiedensten Gesichtspunkten untersucht. So wurde beschrieben, daß Bewegungen mit Hungerkontraktionen des Magens oder mit Harnblasenkontraktionen korrelieren (21). In Bewegungsphasen wurde eine erhöhte Herzfrequenz registriert. Der Einfluß von Alkohol und Kof-

fein auf die nächtliche Bewegungsrate war Gegenstand von Experimenten bei Erwachsenen wie Kindern (28). Zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen wurde Schlaf noch größtenteils als passiver Zustand verstanden. Man nahm an, daß die Funktionsleistung der einzelnen Zelle zurückgeht und sich ein Zustand der Inaktivität entwikkelt, wobei besonders die Motorik abnimmt (21). Jedoch schon 1933 konnte W. R. Hess mit seinen Untersuchungen an Katzen nachweisen, daß bei Reizung bestimmter Hirnregionen Schlaf induzierbar ist. Er stellte die Hypothese auf, daß Schlaf nicht nur durch das Abnehmen externer Reize eintritt, sondern auch durch körpereigene cerebrale Prozesse aktiv ausgelöst werden kann (17). Mit der Entdeckung des REM-Schlaf-Phänomens durch Aserinsky und Kleitman, 1957 setzte sich die Erkenntnis durch, daß Schlaf kein passiver, homogener Ruhezustand, sondern ein aktiver, polyrhythmischer Prozess ist (11).

1.2.

Einführung des EEG

Als Berger 1926 (6) zum ersten Mal Hirnstromwellen zur Beschreibung von Bewußtseinszuständen analysierte, eröffneten sich auch für die Schlafforschung neue Wege. Berger erkannte in seinen EEG´s verschiedene Typen von Wellen, die sich in ihrer Amplitude und Frequenz unterschieden. In der Folgezeit wurden diese Erkenntnisse

auf die Schlafforschung übertragen. Aufgrund elektrophysiologischer Faktoren unterschied man verschiedene Stadien, die hauptsächlich bezüglich Amplitude und Frequenz im EEG definiert wurden und mit den Buchstaben A bis E gekennzeichnet wurden.
1968 wurde eine Standardisierung der Schlafstadien festgesetzt (Rechtschaffen und Kales, 34), die derzeit von den meisten Autoren verwendet wird.

Ein Schlafzyklus ist durch die verhältnismäßig regelmäßige Abfolge der einzelnen Stadien charakterisiert. Auf das Einschlafstadium folgen mit fortschreitender Frequenzabnahme im EEG bei gleichzeitiger Zunahme der Amplitude der EEG- Wellen die Schlafstadien S1, S2, S3 und S4. Danach verläuft die EEG-Aktivität in umgekehrter Reihenfolge und geht in das den Zyklus beendende Schlafstadium REM über.

Die einzelnen Schlafstadien sind unterschiedlich über die Gesamtschlafzeit verteilt. Die Schlafstadien S3 und S4 treten vorwiegend in den ersten beiden Schlafzyklen auf. Gegenläufig nimmt die Dauer der Stadien S2 und REM vom zweiten Schlafzyklus an kontinuierlich zu.

Schlafstadium	EEG-Aktivität
Stadium W (Wachstadium)	Im EEG lassen sich α-Wellen und/oder niedergespannte, gemischtfrequente Aktivitäten feststellen.
Stadium 1	Verhältnismäßig niedervoltiges, gemischt-frequentes EEG. Schnelle Augenbewegungen treten nicht auf.
Stadium 2	Schlafspindeln (12 Hz - 14 Hz) und K-Komplexe treten vor dem Hintergrund einer verhältnismäßig gemischt frequenten EEG-Aktivität auf.
Stadium 3	Hochamplitudige, langsame Wellen treten auf. Ein 30-Sek.-Zeitintervall wird dann als S3 definiert, wenn der Anteil der Wellen im Bereich bis zu 2 Hz und einer Amplitude größer als 75 µV bis zu 50 % beträgt.
Stadium 4	Der Anteil an hochamplitudigen langsamen Wellen überschreitet 50 %.
Stadium REM	Verhältnismäßig niedervoltiges, gemischtfrequentes EEG in Verbindung mit REM-Salven und sehr niedriger EMG-Aktivität.

Tabelle 1: Schlafstadiendefinition W, S1 - S4 und REM nach RECHTSCHAFFEN & KALES (1968)

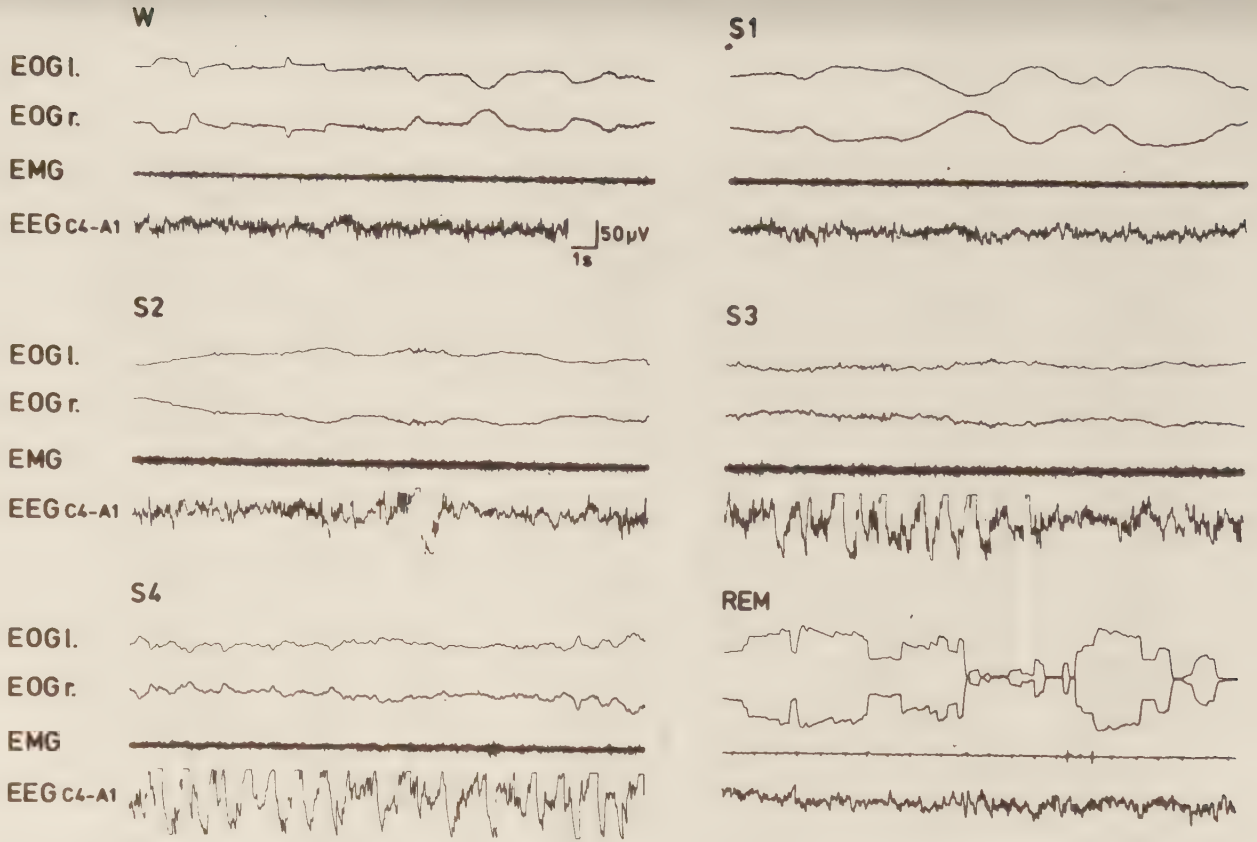


Abb. (1)
Beispiele (20 Sek. - Abschnitte) für die verschiedenen Stadien. Die oberen beiden Kurven zeigen das horizontale EOG vom linken und rechten Auge. Gegenläufige Ausschläge der Kurven entsprechen Augenbewegungen. Die dritte Kurve zeigt das EMG der Kinnmuskulatur. Die untere Kurve zeigt das unipolar von der Zentralregion (C4 - A1) abgeleitete EEG.

Nach Einführung des EEG´s in die Schlafforschung sahen die meisten Untersucher Körperbewegungen als störende Artefakte an. Altshuler und Brebbia (3) stellten fest, daß "Untersucher allgemein vorgezogen haben, willkürlich Passagen aus Ableitungen zu streichen, bei denen Körperbewegungen erscheinen" und daß "andere die Untersuchung solcher Artefakte nicht erwähnen". Es erschienen jedoch auch einige Artikel, die sich mit dem Auftreten von Bewegungen im Schlaf auseinandersetzten - z.B. Dement und Kleitman 1957 (11), Monroe 1967 (26), Sassin und Johnson 1968 (36). Außerdem wurden Bewegungsparameter für Studien ontogenetischer Aspekte bei Säuglingen angewandt, da sich die Messung der Motorik im Gegensatz zum EEG problemlos gestaltet: Motorik kann entweder durch direkte Beobachtung, über Video oder durch Bettaktogramme relativ leicht gemessen werden. Trotzdem weisen fast alle Autoren daraufhin, daß der Einsatz des EEG´s bei detaillierten Untersuchungen unumgänglich ist.

1.3.

Bewegungsparameter in ontogenetischen Studien

Erkenntnisse über fetale Verhaltensvorgänge in Bezug zum maternalen Organismus und Aussagen über pränatale Zyklen und deren Veränderungen basieren häufig auf Ergebnissen pränataler Motilitätsuntersuchungen (Sterman and Hoppenbrouwers 1971 (40), Sterman 1972 (39),

Parmelee und Stern 1972 (41)).
Bei der Beschreibung und Differenzierung postnataler Verhaltenszustände spielt die Motorikvariable ebenfalls eine bedeutende Rolle.

Aserinsky und Kleitman (5) zeigten 1955 erstmals, daß bei Säuglingen ein biphasischer Motilitätszyklus während des Schlafs zu beobachten ist. Er ist in eine ruhige und in eine aktive Phase gegliedert, mit einer Zykluslänge von 50 bis 60 Minuten. Während in der ruhigen Phase (quiet sleep = QS) kaum Körperbewegungen zu sehen sind, ist die aktive Phase (active sleep = AS) gekennzeichnet durch große Muskelbewegungen, Lidflattern und schnelle Bewegungen der oculären Bulbi.

Neben EEG - Parametern zur Unterscheidung von Stadien dienten einer Reihe von Autoren in später durchgeführten ontogenetischen Studien die Körpermotorik als Hauptkriterium zur Stadieneinteilung von Verhaltenszuständen.

Roffwarg, 1966 (35) fand eine enge Korrelation zwischen polygraphischen Kriterien und großen Körperbewegungen bei REM - Stadien Neugeborener. Er unterschied zwischen phasischer Muskelkontraktion und Ruhetonus (resting muscle activity = RMA). Wie Kleitman sah er eine Abnahme von RMA bei gleichzeitigem Auftreten phasischer Muskelkontraktionen während des Überganges von NREM zu REM. Innerhalb der REM - Episoden konnte er ein Anwachsen von Körper-, Gesichts- und Saugbewegungen feststellen.

Thoman und Tynan, 1978 (43) veröffentlichten eine Arbeit, in der sie beschrieben, wie mit relativ wenig apparativem Aufwand und wenig Belästigung für den Säugling, Verhaltenszustände des Kindes objektiviert werden können. Ein Drucksensor an der Matratze des Bettes war an ein Einkanal-Aufnahmegerät angeschlossen. Bewegungen und Respiration produzierten unterschiedliche Signale während der Zustände "Wach", "aktiver" und "ruhiger Schlaf" und den Übergängen. Sie beobachteten die Kinder zwei Tage postnatal im Krankenhaus und bis zu vier Monate zu Hause. Die Ergebnisse verschiedener Auswerter wurden verglichen, und es ergab sich eine hohe Reliabilität bei der Definierung der vier Zustände. Verteilung und Größe der Bewegungsparameter erwiesen sich als charakteristisch für die Schlaf- und Wachzustände.

Die Differenzen zwischen polygraphischen Kriterien und beschreibenden Kriterien des kindlichen Verhaltens haben aufgrund unterschiedlicher Definitionen der verschiedenen Stadien zu viel Verwirrung geführt (39). Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Untersuchung der motorischen Aktivität das früheste und zuverlässigste Mittel darstellt, zumindest REM - Stadien in ontogenetischen Studien zu erfassen und von anderen Stadien abzugrenzen (39).

1.4.

Ergebnisse bewegungsorientierter Untersuchungen bei Erwachsenen

Bei den systematischen Studien des Schlafs Erwachsener ist vielfach die Aktivität des motorischen Systems unbeachtet geblieben. Obgleich der motorische Kortex mit seinen ausführenden Organen und Verschaltungen den größten Teil des menschlichen Körpers beansprucht, haben nur einige Untersucher die Schlafaktivität als Teil des motorischen Systems analysiert.

Nachdem anfangs nur die Verteilung der großen Körperbewegungen betrachtet wurde, sind später auch kleine und kleinste Bewegungen aufgezeichnet worden. Die Möglichkeit hierzu ergab sich durch die Entwicklung neuer, empfindlicher Meßgeräte. Wegen der großen Komplexität motorischer Vorgänge sind bisher nur einige Aspekte der Motilität während des Schlafs untersucht worden. Ein umfassendes Verständnis für die motorische Funktion während des Schlafs, diesem hauptsächlich immobilen Zustand, ist aber erst noch anzustreben (14). Seit Dement und Kleitman (11) in ihrer Arbeit 1957 verschiedene Schlafstadien polygraphisch unterschieden und Bewegungsaktivität hinsichtlich der Verteilung zu diesen Stadien untersuchten, sind einige Veröffentlichungen erschienen, die sich mit dieser Thematik befaßten.

Dement und Kleitman (11) teilten das Auftreten motorischer Aktivität in zwei Kategorien ein: große und kleine Bewegungen. Erstere wurden als Änderung von Körperhaltungen definiert, während die kleinen alle anderen Arten von Bewegungen enthielten, wie Gliedmaßenbewegungen, Zuckungen, etc. Ihre Ergebnisse zeigten, daß in den Stadien 3 und 4 weniger Bewegungen - große wie kleine - zu sehen sind als im Stadium 2. Das Auftreten von großen Bewegungen ist meist mit einem Stadienwechsel verbunden. Während der REM - Episoden wurden große Bewegungen kaum noch nachgewiesen, kleine Bewegungen waren jedoch deutlich vermehrt. Im Stadium 2 fanden sie insgesamt mehr Körperbewegungen als während der REM - Episoden. Zur Aufzeichnung der motorischen Aktivität benutzten die Autoren ein Bettaktogramm und die EEG -Artefakt - Methode.

Sassin und Johnson, 1968 (36) gelangten zu ähnlichen Ergebnissen. Auch sie fanden eine signifikant niedrigere Anzahl von Bewegungen in Stadien 3 und 4 gegenüber Stadium 2 und REM. Stadium 2 und REM unterschieden sich in ihrer Bewegungshäufigkeit nicht signifikant. 17 % aller Bewegungen waren mit Stadienwechsel verbunden.

In allen nachfolgenden Untersuchungen werden für den Delta - Schlaf übereinstimmend die niedrigsten Bewegungswerte angegeben.
Über den Zusammenhang zwischen REM - Schlaf und Motorik, bzw. Stadium 2 und Bewegungshäufigkeit scheint bis zum heutigen Zeitpunkt noch keine endgültige Einigung erfolgt zu sein.

Naitoh et al, 1973 (30) fanden bei Schlafdeprivations - Analysen in der Nacht nach dem Schlafentzug weniger Bewegung als in der Nacht vor dem Schlafentzug. In der Bewegungsverteilung zeigte sich die höchste Rate während der REM - Episoden, die zweithöchste im Stadium 2, die niedrigste im slow wave sleep.

Zu anderen Resultaten gelangten Aaronson et al, 1982 (1) und Kayed et al 1979 (20), die die REM - Episoden als extrem bewegungsarm charakterisieren.

Muzet et al, 1972 (28) sahen einen Anstieg in der Bewegungshäufigkeit vor REM - Episoden und einen Abfall vor slow wave sleep (SWS - Stadium 3 und 4).

Moses et al, 1972 (27) berichteten, daß die Verteilung von Körperbewegungen innerhalb einer Nacht ein einigermaßen stabiles Merkmal einer Versuchsperson sei. Für zwei aufeinanderfolgende Nächte ermittelten sie einen Korrelationskoeffizienten von r = 0.620 über n = 20 Vpn.

Wilde-Frenz & Schulz, 1983 (46), die den ungestörten Nachtschlaf von 11 Vpn. über insgesamt 280 Nächte registrierten, konnten die Ergebnisse von Moses et al bestätigen. Die Autoren berichten ebenfalls von einer stadienspezifischen Bewegungsverteilung, mit der geringsten Bewegungsanzahl in den Stadien S 3/4. Sie betonen, daß die höchste Bewegungsrate in den Stadien S 1 bzw. REM zu finden ist.

Schulz & Dirlich, 1973 (38) veröffentlichten eine Studie zur Periodizität von Schlafbewegungen. Sie erkannten mittels binärer Autokorrelation eine zyklische Verteilung der Bewegungsaktivität mit einer durchschnittlichen Periodendauer von 95 Minuten, also ähnlich dem rhythmischen Verlauf der REM - Episoden.

Auch Mittermeier, 1975 (25) untersuchte die Körpermotorik unter dem Aspekt ihres rhythmischen Verlaufs. Sie fand im Schlaf eine Periodik der Körpermotorik, die mit der REM - NREM - Periodik übereinstimmt. Wenn sich am Tage eine Periodik der Körpermotorik nachweisen ließ, dann war diese deutlich langsamer wie im Schlaf.

1.5.

Methoden zur Erfassung motorischer Aktivität

1.5.1.

Entwicklung des Aktographen

Die Anfänge der Aktographie gehen zurück auf Szymanski, der 1922 (42) eine Arbeit mit dem Titel "Aktivität und Ruhe bei den Menschen" veröffentlichte. Bei arbeitsphysiologischen Untersuchungen ergab sich für ihn ein Zusammenhang zwischen erhöhter Erregbarkeit des

Probanden und seiner Disposition zur Arbeit. Um diese Erregbarkeit objektivieren zu können, schien ihm die Motilitätsmessung ein geeignetes Mittel zu sein: "das einzige objektive Kriterium für den einigermaßen erhöhten Zustand der Erregbarkeit, ..., bildet die Steigerung der allgemeinen unkoordinierten Motilität". Zu diesem Zweck entwickelte er ein Bett, daß so konstruiert war, "daß es Bewegungen der Versuchsperson auf der Trommel eines Kymographions mit 24 - stündiger Umlaufzeit aufzeichnet".
Die Apparatur arbeitete nach dem Prinzip eines Seismographen und war so empfindlich, daß sie sogar Herzfrequenz und respiratorische Schwankungen aufzeichnen konnte. Dieses Meßgerät - im englischen Sprachbereich "sensitive bed" genannt - ist die Erstentwicklung eines Aktographen, wie Szymanski seine Erfindung nannte.

Eine Weiterentwicklung von Szymanski´s Aktographen war die Grundlage für die Schlafstudien, die Johnson et al 1926 bis 1936 durchführten.

Kleitman, Cooperman und Mullin, 1932 (22) benutzten einen Bewegungsaufnehmer, der direkt über einen Eisenstab mit der Matratze verbunden war. Hierdurch konnten durch Bewegungen des Schläfers hervorgerufene Auslenkungen der Matratze auf eine auf dem Boden befindliche Metallplatte übertragen werden. Diese Platte bildete eine Regulierstеuerung, welche bei Bewegungen des Eisenstabs einen Stromkreis unterbrach und auf diese Weise die den Mechanismus auslösende Bewegung auf einer Schreibvorrichtung festhielt.

1.5.2.

Heutiger Stand der Aktographie

I. EEG - EOG - Artefakt - Methode

Kopfbewegungen des Schläfers führen zu Muskelaktionspotentialen, die die EEG - und EOG - Ableitungen überlagern. Körperlagewechsel haben ebenfalls durch Begleitbewegungen des Kopfes umschriebene Artefakteinstreuungen zur Folge. Bewegungen werden also durch Veränderungen (Muskelpotentialartefakte) im EEG und EOG erfaßt.
Die Anzahl der als falsch positiv, bzw. als falsch negativ beschriebenen Bewegungen werden bei dieser Methode in sehr engen Grenzen gehalten. Nachteile liegen im großen apparativen Aufwand. Da bei der EEG - EOG - Artefakt - Methode Bewegungen des Kopfes Voraussetzung zur Erfassung von Körperbewegungen sind, liegt ein weiterer Nachteil in der Nichtregistrierung einer großen Anzahl von isolierten Bewegungen der Extremitäten und des Rumpfes.

II. Direkte Beobachtung

Bei direkter Beobachtung ist eine Aussage nicht nur über die Quantität sondern auch über die Qualität einer Bewegung möglich. Dynamik und Richtung können erfaßt werden. Eine Schwäche dieser Vorgehensweise liegt darin, daß der Beobachter allein nach subjekti-

ven Kriterien urteilt. Vieles mag ihm außerdem entgehen durch Ermüdung, oder durch die Begrenzung des Gesichtsfeldes (z. B. Bewegungen auf der dem Beobachter abgewandten Seite des Schläfers oder unter der Bettdecke). Es kann sich auch negativ für die Schlafqualität des Probanden auswirken, daß direkte Beobachtung nur bei Licht durchgeführt werden kann.

III. Photographie und Videoaufnahme

Bei Fotographien ist der dynamische Ablauf einer Bewegung nicht zu erkennen. Kleine Bewegungen, sowie Zukkungen an den Extremitäten werden nicht aufgenommen. Bei Videoaufnahmen ist die Problematik ähnlich wie bei der direkten Beobachtung. Der Mangel an objektiven Kriterien kann nur durch mehrere Auswerter ausgeglichen werden. Einzelne Bewegungen können durch ungünstige Positionen des Schläfers verdeckt werden. Ein weiterer Nachteil liegt in der großen Datenmenge, die ausgewertet werden muß. Aber wie bei der direkten Beobachtung kann es bei bestimmten Fragestellungen hilfreich sein, dynamische Prozesse der Körpermotorik beobachten zu können.

IV. Elektromyographie

EMG, als wohl sensibelster Index für muskuläre Aktivität wird oft angewandt in Verbindung mit anderen Indikatoren. Durch die hohe Sensitivität ist nicht jede Veränderung im EMG gleichbedeutend mit einer Bewegung. Electromyographische Untersuchungen sind angewandt

worden zur Differenzierung muskulärer Aktivität einzelner Muskeln oder Muskelgruppen (bei subkutaner oder intramuskulärer Implantierung der Elektroden). Um ein erhöhtes motorisches Aktivierungspotential, welches zu generalisierten Körperbewegungen führt, zu erkennen, hat es sich als ausreichend erwiesen, nur eine lokale Gruppe von Muskeln electromyographisch abzuleiten. Einige Untersuchungen haben gezeigt, daß sogar bei kleinen Bewegungen selten nur eine Muskelgruppe allein aktiviert wird, so daß es für viele Studien genügt, electromyographische Signale der Kinnmuskulatur zu registrieren. Höchste Sensibilität zur Erfassung motorischer Vorgänge bietet die Kombination von EEG - Artefakt - Methode, Bettaktogramm und EMG - Messung.

V. Bettaktograph

Obwohl Bettaktographen eine große Empfindlichkeit besitzen, werden kleinste muskuläre Veränderungen nicht erfaßt. Weil Bewegungen des Körpers über Schwingungen der Matratze aufgenommen werden, sind z. B. Muskelzuckungen der Finger- oder Gesichtsmuskeln nicht darstellbar. Der Schläfer wird aber nicht beeinträchtigt, und für viele Studien ist es ausreichend, nur grobe Bewegungen zu registrieren.
1978 stellte Alihanka (2) eine neue Version des sensitive bed vor. Durch Potentialänderung zweier Metallplatten, die unter der Matratze angebracht sind, können auf diese Weise selbst kleinste Bewegungen der verschiedenen Körperteile differenziert werden.

VI. Aktographie

1972 begann Kupfer (24) mit der Entwicklung eines telemetrischen aktographischen Systems, welches am Handgelenk zu tragen war. Mit Hilfe dieses Gerätes konnte er Bewegungen aufzeichnen, ohne den Probanden sehr zu belasten. Der Aktograph besaß zwar keine hohe Empfindlichkeit, so daß kleine Bewegungen nicht registriert wurden, aber er konnte z. B. Schlaf- und Wachzustände mit r = 0.84 und r = 0.88 im Vergleich zu EEG - Aufzeichnungen unterscheiden.

Diese Idee griffen Colburn et al, 1976 (9) auf. Sie entwickelten einen piezokeramischen Aufnehmer mit internem Kernspeicher, der kontinuierlich über mehrere Tage und Nächte Bewegungen über ein 7,5 - Minuten - Raster registrieren und speichern kann.

Ein ähnliches Gerät - vielfältiger in den Einsatzmöglichkeiten, dafür teurer, größer und mit externem Speicher - testeten Mullaney et al, 1978 (23). Sie überprüften, wie zuverlässig Wach- von Schlafvorgängen zu unterscheiden waren. Zwischen polygraphisch erhobenen Daten und den Aktogrammessungen ergab sich eine Korrelation von r = 0.954 für die Schlafzeit und r = 0.851 für Wachzeiten im Schlaf. 1982 entwickelten sie ein computergesteuertes Verfahren zur automatischen Analyse von Schlaf- und Wachstadien auf der Basis von Bewegungsdaten.

In der folgenden Arbeit wird eine modifizierte Version des von Colburn et al entwickelten Axtometers - ein Gerät, das wenig aufwendig gebaut und daher kostengünstig ist - getestet. Es soll gezeigt werden, welche Anwendungsmöglichkeiten sich für diesen, den Träger kaum beeinträchtigenden Bewegungsaufnehmer, ergeben.

2.

Zielsetzung

Das Ziel der Untersuchung war es, folgende Annahmen zu überprüfen:
ist es möglich, mit Hilfe eines ambulanten Bewegungsmessers

1) Wach- und Schlafphasen unter Bunkerbedingungen, d. h. ohne externe Zeitgeber, zu unterscheiden.

2) Die innere Struktur des Schlafes (d. h. REM - NREM - Periodik) zu erfassen.

3) Kann der Einschlafzeitpunkt über den Intensitätsabfall im Bewegungsprofil festgesetzt werden?

3.

Methode

3.1.

Versuchspersonen

An den Untersuchungen im Schlaflabor nahmen vier gesunde Versuchspersonen teil:
zwei männliche (KUL, KEL)
zwei weibliche (AML, DHL)
im Alter von 25 bis 34 Jahren.

An den Untersuchungen im Bunker nahmen vier gesunde männliche Versuchspersonen teil:
GEB, WEB, CWB, PZB,
im Alter von 25 bis 39 Jahren.

Die Probanden waren Studenten oder Mitarbeiter des Instituts. Sie erhielten für die Teilnahme am Experiment eine finanzielle Entschädigung.

3.2.

Versuchsdurchführung

Die Versuche im Schlaflabor fanden im Rahmen einer Untersuchung über unterschiedliches Einschlafverhalten

statt. Es sollte gezeigt werden, inwieweit verschiedene Einschlafsituationen Auswirkungen auf den Schlaf haben:

1. vorgegebene feste Lichtauszeit
2. Selbstwahl des Lichtauszeitpunktes
3. durch ein Auswahlsystem vom Versuchsleiter jede Nacht neu festgesetzter Zeitpunkt des Lichtausschaltens

Die Bunkerversuche fanden im Rahmen einer ´disentrainment´-Untersuchung statt. Unter sozialer und zeitlicher Isolation (disentrained environment, Campbell, 1984, (8)) sollte der Schlaf-Wach-Verlauf bei möglichst inaktivem Verhalten während der Wachzeiten analysiert werden. Als ´disentrained environment´ wird eine Versuchsanordnung mit folgenden Bedingungen beschrieben:

1. kontrollierte Ausschaltung exogener Variablen, die das Auftreten von Schlafperioden verhindern können (z. B. Fernsehen, soziale Kontakte, Musik hören, lesen, schreiben etc.)
2. Vermeidung von Verhaltenszuständen, die mit dem Schlafprozeß nicht vereinbar sind (verstärkte körperliche Betätigung z. B.)

3.2.1.

Versuche im Schlaflabor

Die Versuchsreihen fanden im Schlaflabor des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie in München statt.

Dort schliefen die Versuchspersonen 14, bzw. 30 aufeinander folgende Nächte unter kontrollierten Bedingungen.
Etwa eine Stunde vor Beginn des Versuchs fanden sich die Probanden im Labor ein und bereiteten sich für die Nacht vor (Kleben der Elektroden, Einführen des Rektalfühlers, etc.).
Versuchsbeginn und Lichtaus-Zeit war für die einzelnen Versuchspersonen unterschiedlich:

VP	Anzahl d. Nächte	Hinlegen	Licht aus	Wecken
KUL	30	ca 23.50	0.00	zwischen 7.00 und 8.30
KEL	14	21.30	zwischen 21.30 und 1.30 durch Versuchsleiter vorgegeben	7.00
DHL1	14	ca 22.50	23.00	7.00
DHL2	14	21.30	Selbstwahl(1) der Licht-aus-Zeit	7.00
AML1	14	21.30	Selbstwahl(1) der Licht-aus-Zeit	7.00
AML2	14	ca 22.50	23.00	6.30

(1) Probanden legen sich gegen 22.00 ins Bett und wählen den Zeitpunkt des Lichtausschaltens selbst.

3.2.2.

Versuche im Bunker

Diese Untersuchungen fanden im unterirdischen Bunker des Max-Planck-Instituts für Verhaltensphysiologie in Erling-Andechs statt.

Für die Experimente stand ein klimatisierter, schallisolierter und künstlich beleuchteter Wohn-Schlaf-Raum von ca 20 qm mit Duschraum, Toilette und Küche zur Verfügung. Die Wohneinheit ist durch eine doppeltürige Schleuse von einem Vorraum getrennt, in welchem sich die Registriergeräte befanden.

Jede Versuchsperson lebte im Bunker für einen Zeitraum von 80 Stunden. Da die ersten acht Stunden als Eingewöhnungsphase galten, betrug die eigentliche Versuchsdauer 72 Stunden. Vor Beginn des Versuchs war der Proband instruiert worden, sich während des Experiments möglichst inaktiv zu verhalten, d. h. weder zu lesen, noch zu schreiben, nicht zu kochen, Musik zu hören oder zu rauchen.

Der in den Untersuchungen eingesetzte Aktograph ist ein im Max-Planck-Institut entwickeltes Versuchsgerät. Da es sich hierbei nicht um ein industriell hergestelltes Gerät, sondern um einen Prototyp handelt, lag der Anteil der Ausfallzeit - bedingt durch gelockerte Lötstellen, Defekte im integrierten Speicher, Schwierigkeiten bei der Datenübertragung und zu geringe Empfindlichkeit des Induktionsaufnehmers - bei ca. 30 %. Dadurch begrenzte sich für beide Versuchsdurchführungen

die auszuwertende Versuchsdauer wie folgt:

Schlaflabor:			Bunkerversuch:		
KUL	-	23 Nächte	GEB	-	55 Stunden
KEL	-	11 Nächte	WEB	-	72 Stunden
DHL1	-	9 Nächte	CWB	-	71.2 Stunden
DHL2	-	10 Nächte	PZB	-	71 Stunden
AML1	-	8 Nächte			
AML2	-	14 Nächte			

3.3.

Datenregistrierung

3.3.1.

Polygraphie

Mit einem 12-Kanal-Siemens-Mingograph (Bunker), bzw. mit einem 12-Kanal-Nihon Kohden (Schlaflabor) wurden folgende physiologische Variablen registriert:

EEG: 3 unipolare Zentral-Electroencephalogramme (C4 - A1, C3 - A2, C3 - C4)

EOG: unipolare Horizontal-Electrooculogramme von beiden Augen.

EMG: Electromyogramm vom Kinn

Körper-motorik:	Aktogramm - ein Registrierkanal zeichnete die Signale eines induktiven Bewegungsaufnehmers auf.

3.3.2.

Erfassung von Körperbewegungen

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein von Fodor, 1966 (13) entwickelter Aktograph verwendet. Das Gerät ist an der Unterseite des Bettes befestigt. Seine Funktionsweise läßt sich wie folgt beschreiben: die durch Bewegungen der Versuchsperson hervorgerufenen Erschütterungen des Bettes teilen sich einem einseitig fixierten, schwingungsfähigen Stahlstab mit. Sein freies Ende trägt einen Weicheisenkern. Durch Schwingungen des Stahlstabes wird in einer Spule eine Spannung induziert, deren Stärke proportional der Bewegungsgeschwindigkeit ist. Die induzierten Ströme werden mit Hilfe eines laborüblichen Wechselstromverstärkers von einem Liniarschreiber aufgezeichnet.

Während der gesamten Versuchsdauer trugen die Versuchspersonen einen ambulanten Bewegungsmesser (Aktograph) am Handgelenk des dominanten Arms.

Dieser Bewegungsmesser ist eine Weiterentwicklung eines von Colburn et al, 1974 (9) beschriebenen Gerätes. Er hat eine Größe von 16 x 19 x 50 mm und wiegt 58 g. Ein piezoelektrischer Aufnehmer erzeugt eine seiner Beschleunigung proportionale Spannung, hervorgerufen

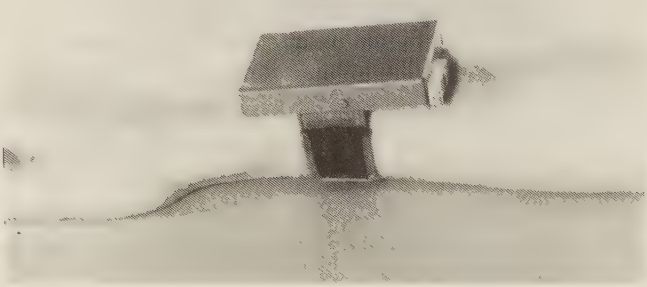
durch die mechanische Verbiegung am freien Ende des bilaminären Wandlers. Übersteigt diese Spannung eine einstellbare Schwelle, so wird ein elektrischer Impuls erzeugt. Die Anzahl dieser Impulse innerhalb eines 7,5 - Minuten - Intervalls wird durch den Faktor 16 geteilt und als Datenwert mit 8 bit abgespeichert. Die Speichergröße beträgt 1024 Datenwerte. 1024 x 7,5 Minuten, d. h. fünf Tage und acht Stunden können ununterbrochen aufgezeichnet werden. Die Datenübertragung erfolgt über ein Interface auf eine Computeranlage. Die Einspeisung erfolgt über eine Trockenbatterie, welche alle 14 Tage kontrolliert wird. Nach ca zwei Monaten muß sie ausgetauscht werden.

Für die vorliegende Untersuchung wurden zwei Aktographen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit, welche über einen regelbaren Widerstand verändert werden konnte, eingesetzt.

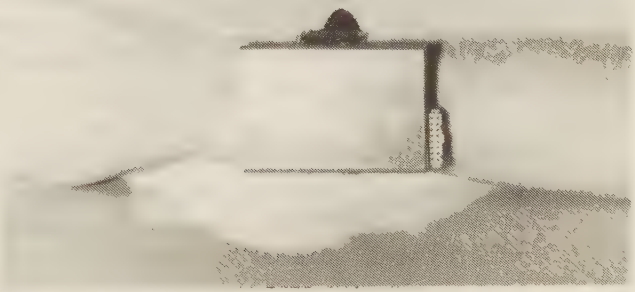
	VP	empfindlicher Aktograph	weniger empfindl. Aktograph
Schlaflabor	KUL		X
	KEL		X
	DHL1		X
	DHL2		X
	AML1	X	
	AML2	X	
Bunkerversuch	GEB	X	
	PZB	X	
	WFB		X
	CWB		X

Zuordnung der beiden unterschiedlich empfindlichen Aktographen während der Untersuchungen.

Aktograph am
Handgelenk
(seitlich)



Aktograph
(von oben)



Aktograph
(Innenansicht)

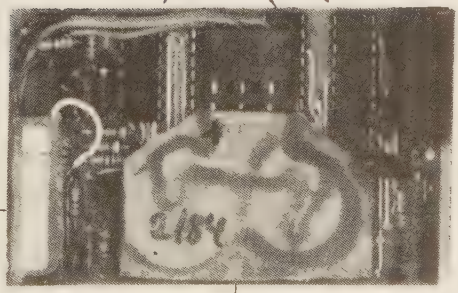


Abb. (2)
Aktograph

3.4.

Datenauswertung

3.4.1.

Polygraphie

Die polygraphischen Aufzeichnungen wurden in 30-Sekunden-Epochen unterteilt. Jede Epoche wurde einzeln visuell analysiert und nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales, 1968 den Schlafstadien S1 - S4, REM und dem Stadium WACH zugeordnet.

Zusätzlich wurden die elektrophysiologischen Daten auch mit Hilfe eines automatischen, computerunterstützten Verfahrens (Schulz & Haustein, 1983, (16)) verarbeitet. Hierzu werden die EEG - Informationen nach Amplitude und Frequenz derart gewichtet, daß sie sich in Parameterwerte umsetzen lassen, die den Stadien Wach, S1 - S4 zugeordnet werden können. EEG - Verläufe mit niedrigen Amplituden und hoher Frequenz werden positiv gewichtet in Richtung erhöhten Parameterwert. Hohe Amplituden und niedrige Frequenz führen durch negative Gewichtung dementsprechend zu niedrigen Parameterwerten. Stadium Wach stellt die höchsten Parameterwerte dar, Stadium S4 die niedrigsten. Auf diese Weise ist die Schlafstadienfolge durch einen kontinuierlich variierenden Verlaufsparameter darstellbar (s. Abb. 23).
Die zusätzlich gewonnenen Motorikdaten aus Informa-

tionen des EEG, EMG, und Bettaktogramms wurden epochenweise nach folgenden Kriterien klassifiziert:

0 = keine Bewegung (weder Bettaktogrammausschläge, noch Artefakte in den Kopfableitungen)

1 = kleinere Bewegungen (entweder Ereignisse im Aktogramm oder Artefakte in den Kopfableitungen)

2 = größere Bewegungen (Aktogrammausschläge und Artefakte in den Kopfableitungen von weniger als 15 Sekunden Dauer)

3 = Bewegungsepoche (Bewegunsartefakte von mehr als 15 Sekunden Dauer, nach Definition von Rechtschaffen und Kales)

Die Kriterien entsprechen der Motorikskalierung von Schulz und Dirlich (1973).

Um die polygraphisch registrierten Daten (30-Sekunden-Zeitintervall = 1 Epoche) mit denjenigen des ambulanten Bewegungsmessers (7,5-Minuten-Zeitintervall = 1 Datum) in Beziehung setzen zu können, wurden fortlaufend jeweils 15 Epochen zu 7,5-Minuten-Intervallen zusammengefaßt. Bei Nichthomogenität eines Intervalls wurde dieses nach dem am häufigsten (mehr als 50 %) auftretenden Zustand (z. B. Wach - Schlaf oder REM - NREM) definiert.

3.4.2.

Aktometer

Die Konstruktionsweise des Aktometers läßt eine qualitative Beschreibung der aufgezeichneten Bewegungen nicht zu. Der quantitative Wert eines Bewegungsintervalls von 7,5 Minuten kann sich als Summationswert vieler kleiner Bewegungen zusammensetzen, er kann aber auch mehrere Bewegungen mittlerer Intensität oder eine große Bewegung darstellen. Deshalb wurden die 7,5 - Minuten - Intervalle ausschließlich nach den Merkmalen "Bewegung vorhanden" oder "Bewegung nicht vorhanden" ausgewertet, unabhängig von der Größe ihrer Bewegungsintensität.

3.4.3.

Schlaf - Wach - Phasen - Untersuchung unter Isolationsbedingungen (Bunker)

Die polygraphischen Aufzeichnungen wurden hinsichtlich der Schlaf- und Wach - Phasen ausgewertet. Diesen Daten wurden die Bewegungsdaten in einem Vier - Felder - Test zugeordnet.

3.4.4.

Schlafstrukturuntersuchung im Schlaflabor

Die Beziehung zwischen motorischer Aktivität und der REM - NREM -Periodik pro Nacht wurde mit Hilfe eines Vier - Felder - Tests und Chi - Quadrat - Tests untersucht. Zusätzlich wurden für jede Versuchsperson über alle Nächte der REM - NREM - Verlauf und der Verlauf der Bewegungsdichte mittels Kreuzkorrelation und einer Produkt - Moment - Korrelations - Berechnung verglichen.

3.4.5.

Zuordnung von Körperbewegungen zu REM - Episoden

Zur Quantifizierung des Motorikverlaufs im Bereich der REM - Episoden wurde die Bewegungsintensität innerhalb der REM - Episoden, jeweils vier Zeitintervalle vor Beginn und vier Zeitintervalle nach Beendigung der REM - Episoden, ermittelt. Je nach Länge der Episode, wurden mindestens ein Intervall und höchstens fünf Intervalle der jeweiligen REM - Episode analysiert. Der Bereich einer REM - Episode, der länger als fünf Intervalle darstellte, wurde nicht berücksichtigt.

3.4.6.

Einschlaflatenz

Als Kriterium für den Einschlafzeitpunkt galt:

a) polygraphisch:
erstes Auftreten einer Epoche von Stadium 2.

b) aktometrisch:
bei empfindlichem Aktometer: erstes Auftreten eines Intervalls ohne Bewegung.
bei unempfindlichen Aktometer: erstes Auftreten von zwei aufeinanderfolgenden Intervallen ohne Bewegung.

Diese beiden Indices (Aktograph, Polygraph) wurden mit Hilfe eines Chi - Quadrat - Tests miteinander verglichen.

3.4.7.

Validitäts - Test von Daten des ambulanten Bewegungsmessers und des Bettaktographen

Aus einer Stichprobe von 2 x 12 Nächten wurden für die polygraphisch definierten Motorikdaten (siehe 3.4.1.) und die Aktogrammdaten des ambulanten Bewegungsmessers ein Validitäts - Test durchgeführt. Es wurden die Daten von 12 Nächten mit empfindlichem Aktographen und von 12 Nächten, in denen ein unempfindlicher Aktograph getragen wurde, ausgewertet.
Die in Epochen unterteilten Bewegungsdaten der polygraphischen Aufzeichnung wurden über jeweils 7,5 Minuten summiert. Die Summation wurde wie folgt durchgeführt:

a) Addition jeder Bewegung unabhängig von ihrer Größe.

b) Addition jeder Bewegung und Gewichtung mit den Faktoren 1 - 3 gemäß der Bewegungsdefinierung der Klassen 1 - 3.

c) Addition jeder Bewegung der Bewegungsklassen 2 und 3 (ohne 1-er Bewegungen) und Gewichtung mit den Faktoren 2 bzw. 3.

Gegenüber diesen drei Intervallreihen wurde das prozentuale Auftreten motorischer Aktivität, gemessen mit dem ambulanten Bewegungsmesser, ermittelt. Ein Beispiel für die Durchführung des Validitätstests ist auf der folgenden Seite dargestellt.

Beispiel für die Durchführung des Validitäts - Tests

1) Summation aller durch Polygraphie und Bettaktogramm ermittelten Bewegungsdaten über 15 Epochen = 7,5 Minuten nach den Kriterien.

a) Summation der Bewegungsdaten ohne Gewichtung

b) Summation der Bewegungsdaten und Gewichtung mit den Multiplikationsfaktoren 1-3 gemäß den Bewegungsklassen 1-3

c) Summation der Bewegungsdaten und Gewichtung ohne den Bewegungen der Bewegungsklasse 1

2) Addition der Intervalle mit gleicher Bewegungsdichte (getrennt für die einzelnen Bedingungen a, b, c)

Bewegungsintensität	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anzahl der Intervalle über je 12 Nächte	330	150	180	150	140	200	200	150	150	80	80	60

3) Daten des ambulanten Bewegungsmessers: Addition der Intervalle mit mot. Aktivität

Anzahl der Intervalle, in denen Bewegungen ebenfalls vom amb. Bewegungsmesser registriert wurden	30	50	90	120	120	180	184	145	150	80	80	60
Häufigkeit in Prozent	10	33	50	80	86	90	92	97	100	100	100	100

4.

Ergebnisse

4.1.

Verteilung von Körperbewegungen in Schlaf - Wach - Phasen unter Isolationsbedingungen im Bunker

Mit dem in der vorliegenden Untersuchung verwendeten ambulanten Bewegungsmesser können Schlaf -, bzw. Wach - Phasen mit hoher Sicherheit erfaßt werden. Die Abb. (3 - 6) zeigen den Aktivitätsverlauf der Versuchspersonen im Bunkerversuch über 72 (55) Stunden. Die x - Achse gibt den zeitlichen Verlauf der Untersuchung in Stunden wieder. Die y - Achse stellt die vom ambulanten Aktographen aufgezeichnete Bewegungsintensität dar. Der Balken darunter zeigt im Vergleich dazu den Schlaf - Wach - Phasen - Verlauf, definiert durch die Polygraphie.

Zum Ausgleich der unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Aktographen wurde für die Versuche von GEB und PZB, welche einen relativ empfindlichen Bewegungsmesser trugen, nachträglich eine Schwelle von zwei Bewegungsintensitätseinheiten festgelegt. Jedes Intervall mit einer Intensität ≥ 2 wurde als Wachaktivität gedeutet, ≤ 2 einer Schlafphase zugeordnet.
Bei WFB und CWB, die ein Aktometer mittlerer Empfindlichkeit trugen, lag diese Schwelle entsprechend bei 0.

Tab. (2) gibt die Verteilung von Schlaf - und Wach - Phasen bei allen vier Versuchspersonen für die Gesamtversuchszeit wieder. Die ersten beiden Spalten geben den prozentualen Anteil der Wachzeit mit, bzw. ohne Bewegung an der Gesamtdauer des Versuchs an.
Die beiden folgenden Spalten zeigen die entsprechenden Ergebnisse bei der durch Polygraphie definierten Schlafzeit. Es zeigt sich, daß bei den Wachzeiten eine weniger gute Übereinstimmung zwischen Aktivitätsgrad und motorischer Intensität (die ersten beiden Spalten) zu finden ist, als bei den Schlafzeiten.

Für alle Versuchspersonen ergibt sich zwischen den polygraphisch definierten und dem mit Hilfe des Aktometers definierten Schlaf - Wach - Phasen folgende Übereinstimmung:

a)	bei den Schlaf - Phasen:	90.0 %
b)	bei den Wach - Phasen:	83.7 %
c)	insgesamt:	85.0 %

Für den Gesamtversuch ergibt sich eine Übereinstimmung beider Parameter von 85,9 % bei GEB, 75,0 % bei CBB, 89,6 % bei PZB und 89,4 % bei WFB.

VP	% Wachzeit der Gesamtversuchszeit (*)		% Schlafzeit der Gesamtversuchszeit (*)		Übereinstimmung für Schlaf- u. Wachzeit (%)	Schlafanteil (min)	Wachanteil (min)	Gesamtversuchs-dauer (min)
	mit Bewegung (**)	ohne Bewegung (**)	mit Bewegung (**)	ohne Bewegung (**)				
GEB	36.2 %	8.7 %	5.4 %	49.7 %	85.9 %	1815	1477	3292
CWB	46.5 %	17.7 %	7.3 %	28.5 %	75.0 %	2043	2277	4320
PZB	48.9 %	9.7 %	0.7 %	40.8 %	89.6 %	1821	2499	4267
WFB	64.8 %	7.3 %	3.3	24.6 %	89.4 %	1207	3112	4320

Tab. (2)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität und polygraphisch definierten Zuständen: die erste Spalte zeigt den Anteil der polygraphisch definierten Gesamtwachzeit in Prozent, der mit Bewegung gekoppelt ist. Die zweite Spalte zeigt den Anteil der polygraphisch definierten Gesamtwachzeit in Prozent, der keine motorische Aktivität aufweist. Die beiden folgenden Spalten zeigen die entsprechenden Ergebnisse für die polygraphisch definierte Gesamtschlafdauer. Die drei letzten Spalten zeigen den Wach- und Schlafanteil an der Gesamtversuchszeit.

* definiert durch Polygraphie

** Daten des Bewegungsmessers

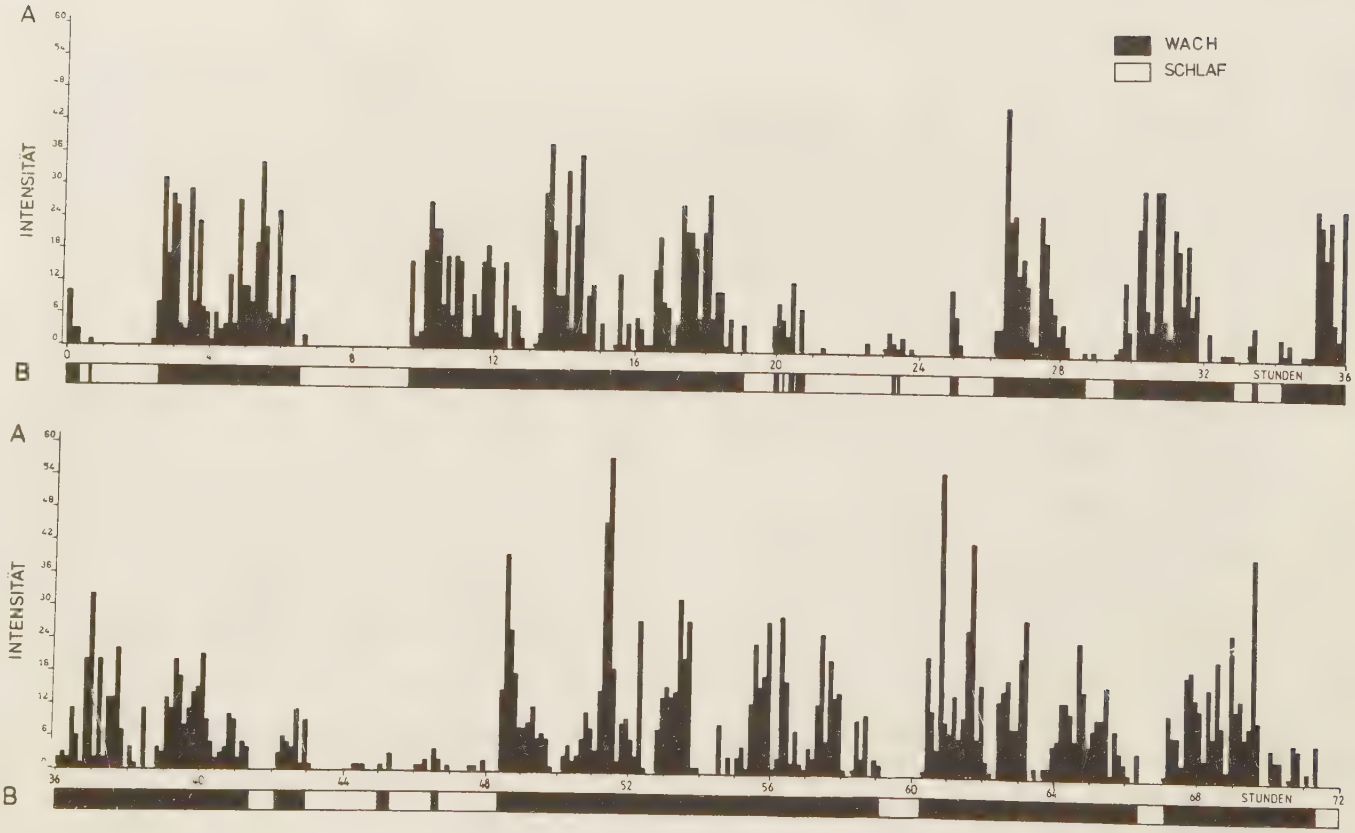


Abb. (3)

Schlaf - Wach - Phasen - Verlauf über 72 Stunden im Bunkerversuch.

A: Aktivitätsintensität, aufgezeichnet mit dem ambulanten Bewegungsmesser

B: Polygraphische Aufzeichnung

Schwarz: Wach
Weiß : Schlaf

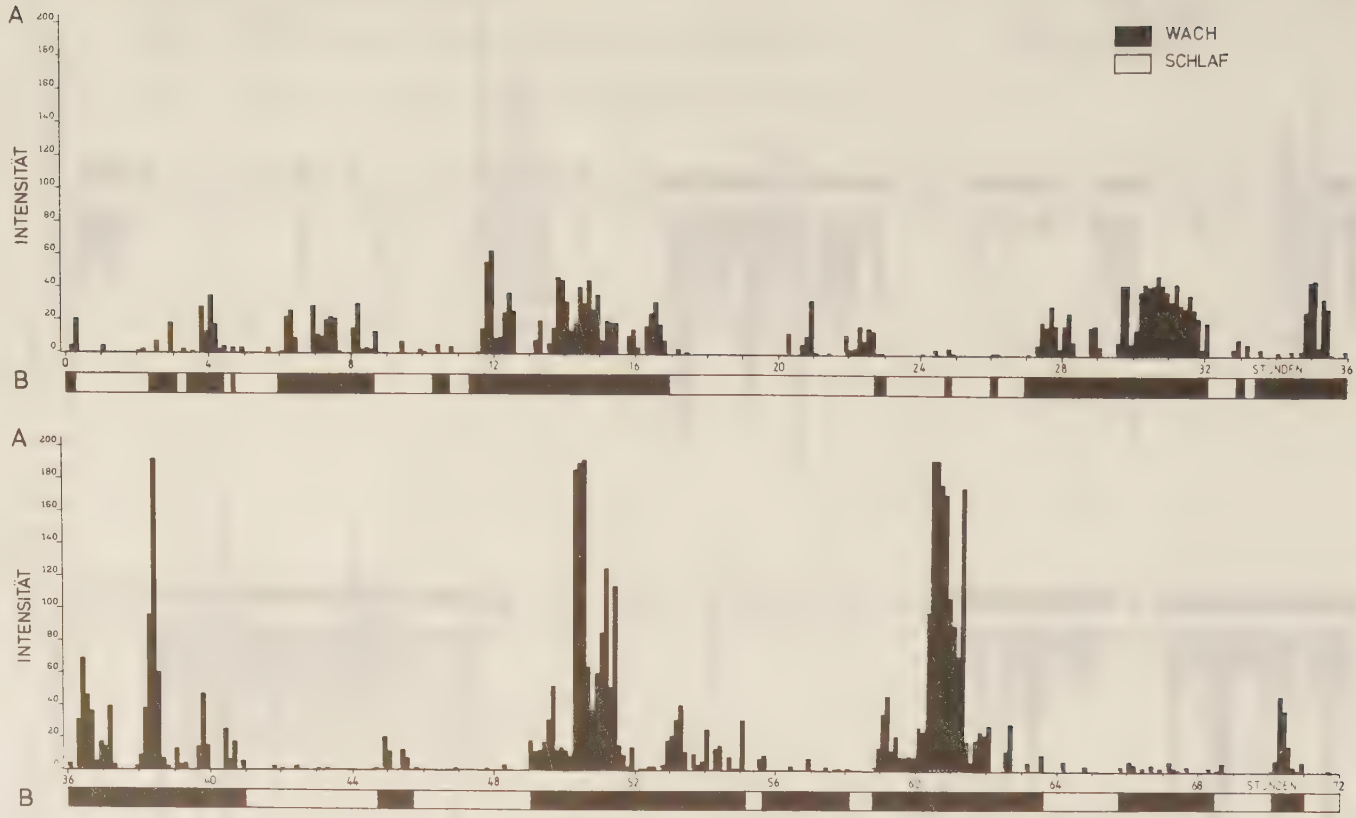


Abb. (4)

Schlaf - Wach - Phasen - Verlauf über 72,2 Stunden im Bunkerversuch.

A: Aktivitätsintensität, aufgezeichnet mit dem ambulanten Bewegungsmesser

B: Polygraphische Aufzeichnung

Schwarz: Wach
Weiß : Schlaf

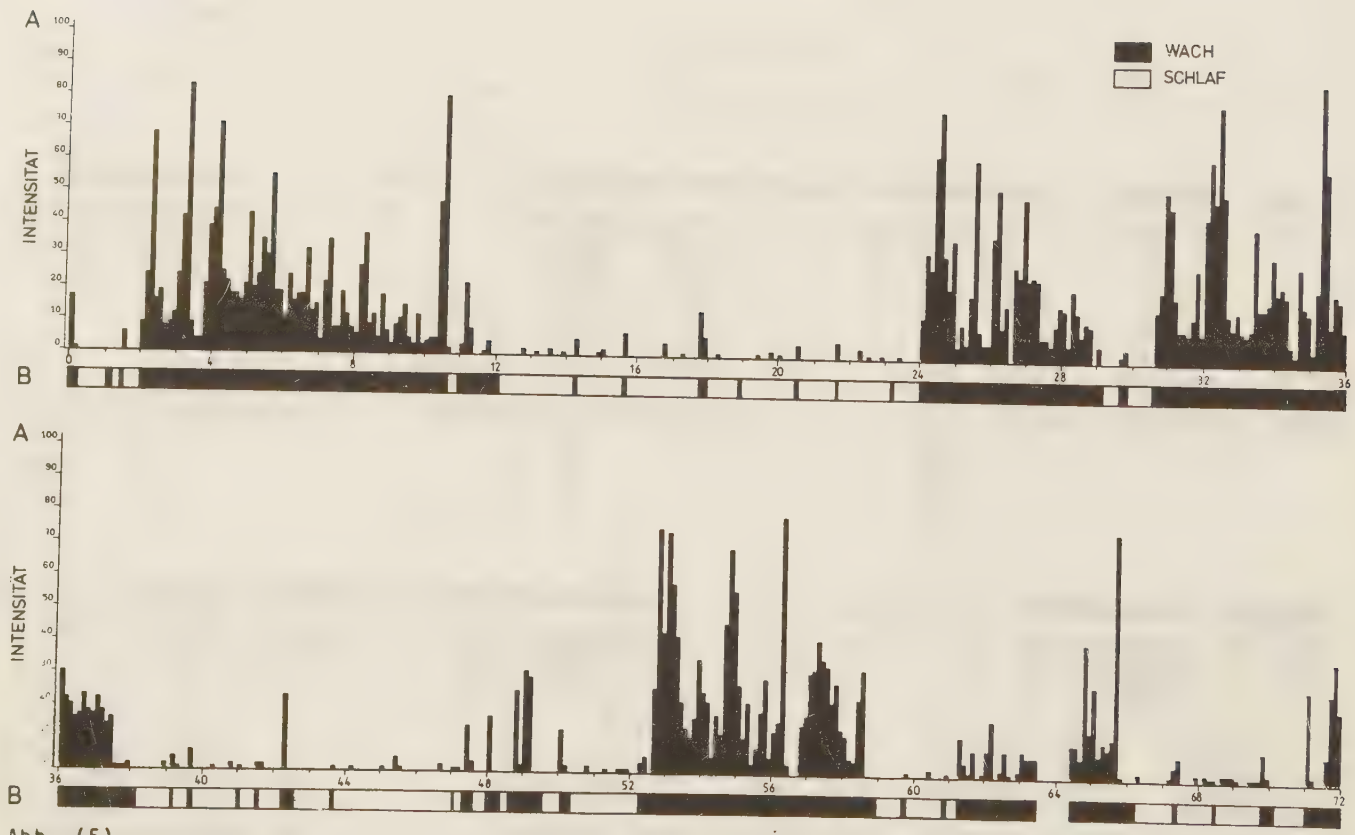


Abb. (5)

Schlaf - Wach - Phasen - Verlauf über 71 Stunden im Bunkerversuch.

A: Aktivitätsintensität, aufgezeichnet mit dem ambulanten Bewegungsmesser

B: Polygraphische Aufzeichnung

Schwarz: Wach
Weiß : Schlaf

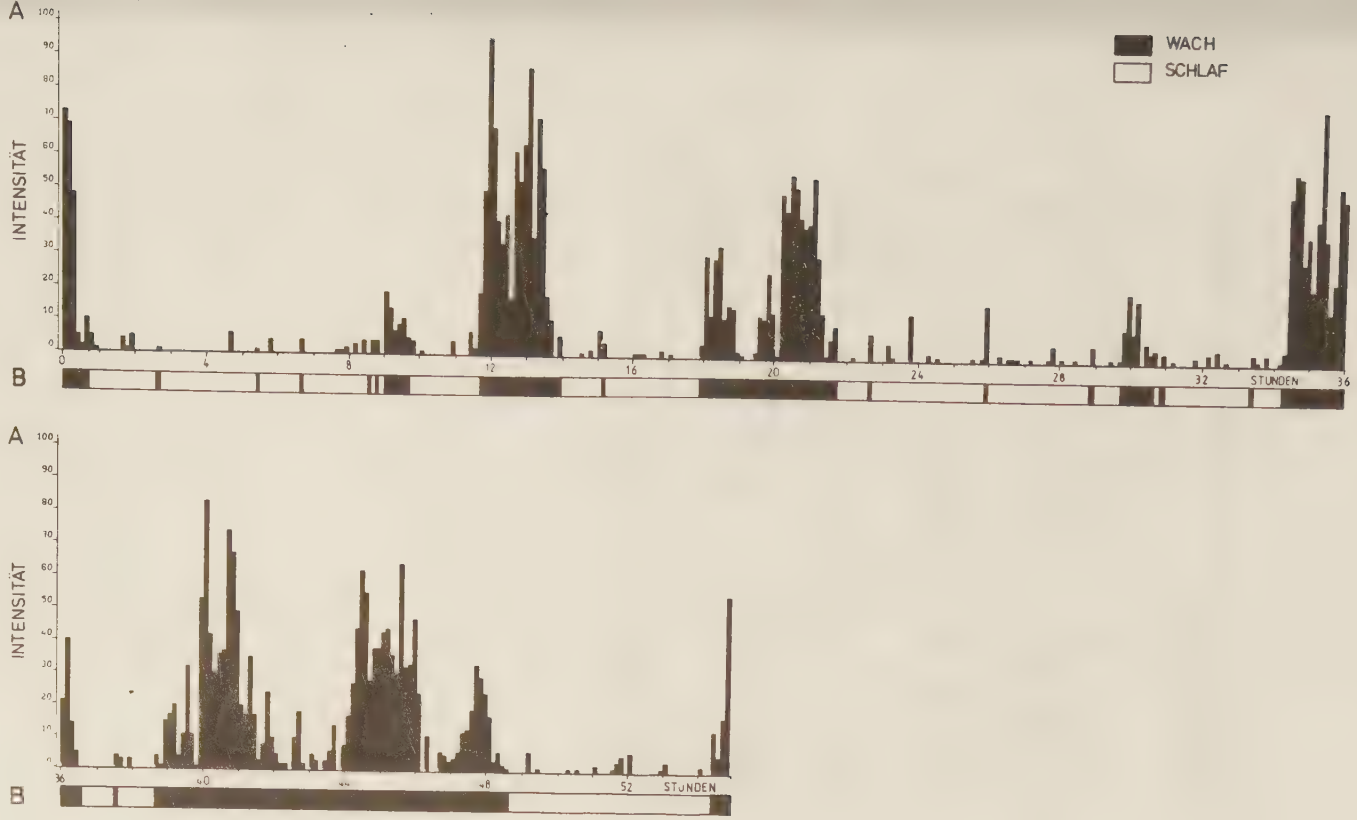


Abb. (6)

Schlaf - Wach - Phasen - Verlauf über 55 Stunden im Bunkerversuch.

A: Aktivitätsintensität, aufgezeichnet mit dem ambulanten Bewegungsmesser

B: Polygraphische Aufzeichnung

Schwarz: Wach
Weiß : Schlaf

4.2.

Zusammenhang zwischen nächtlicher Motorik und Schlafstruktur im Schlaflabor

Mit den Untersuchungen im Schlaflabor soll der Zusammenhang zwischen der Verteilung nächtlicher motorischer Aktivität und der Schlafstruktur (REM - NREM - Verlauf) geprüft werden. Dieser Zusammenhang zwischen - mit dem Aktometer erfaßter - motorischer Aktivität und dem Auftreten von REM - Episoden ist uneinheitlich. Es bestehen deutliche interindividuelle und intraindividuelle Unterschiede. Abbildung (7) zeigt am Beispiel einer Versuchsperson (KUL3) das Auftreten von Bewegungen und den Verlauf der REM - Episoden während 23 aufeinanderfolgenden Nächten. Eine gute Koinzidenz zwischen Körperbewegungen und REM - Episoden ist hier beispielsweise in der ersten, zweiten und dritten Nacht zu sehen. Eine weniger gute Übereinstimmung im zeitlichen Auftreten beider Parameter findet sich in der elften und zwanzigsten Nacht.

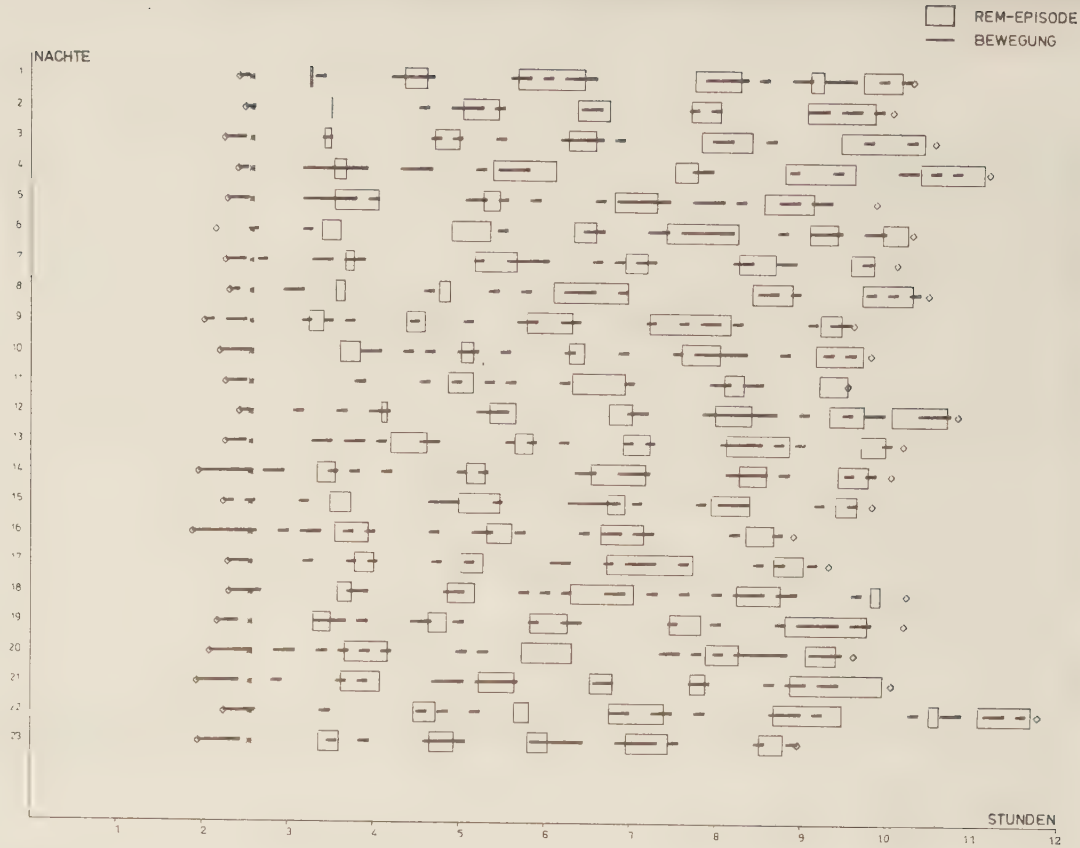


Abb. (7)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 23 Nächte einer Versuchsperson (KUL), auf den Beginn von Stadium S2 synchronisiert.

Die Chi - Quadrat - Berechnung der Daten ergab folgende Ergebnisse (Tab. (5)): in allen Nächten von AML2 besteht eine gute Koinzidenz ($p \leq 0.05$) zwischen beiden Parametern. AML1 und KUL zeigen in 88 % bzw. 70 % aller Nächte eine positive Assoziation, während dies bei KEL, DHL1 und DHL2 (46 %, 44 %, 40 %) in der Mehrzahl der Nächte nicht zutrifft.

Nacht Nr.	KUL	KEL	DHL_1	DHL_2	AML_1	AML_2
1	.0000	.2322	.0028	.0056	.0001	.0005
2	.0012	.5378	.0007	.0186	.3548	.0000
3	.0292	.0000	.0028	.0004	.0000	.0033
4	.0507	.0253	.0682	.3007	.0001	.0066
5	.0015	.1203	.7953	.5580	.0063	.0000
6	.0066	.1415	.8758	.7782	.0027	.0000
7	.6025	.0002	.0559	.7654	.0017	.0015
8	.0280	.0009	.2992	.5282	.0013	.0125
9	.0122	.0953	.0219	.5992		.0003
10	.0058	.0032		.0490		.0002
11	.6464	.2489				.0000
12	.0165					.0000
13	.0019					.0014
14	.0035					.0000
15	.0880					
16	.3218					
17	.0432					
18	.0527					
19	.0023					
20	.6846					
21	.0057					
22	.0040					
23	.0043					
Anzahl der Nächte mit $p \leq 0.05$	70%	46%	44%	40%	88%	100%

Tab. (5)
Beziehung zwischen dem Auftreten motorischer Aktivität und REM - Episoden während einzelner Nächte. Signifikanzberechnung (Chi - Quadrat) der Beziehung dieser beiden Parameter.

In einem weiteren Schritt wurden die Körperbewegungen, bzw. REM - Episoden über alle Nächte addiert, nachdem sie vorher auf den selben Referenzpunkt (erste Epoche S2) synchronisiert wurden (Abb. (8)). Die obere Abbildung zeigt in ihrem Verlauf (Motorikdaten) fünf deutliche Maxima, welche zeitlich mit den Maximalwerten in der Häufigkeitsverteilung der REM - Episoden (untere Abb.) koinzidieren.

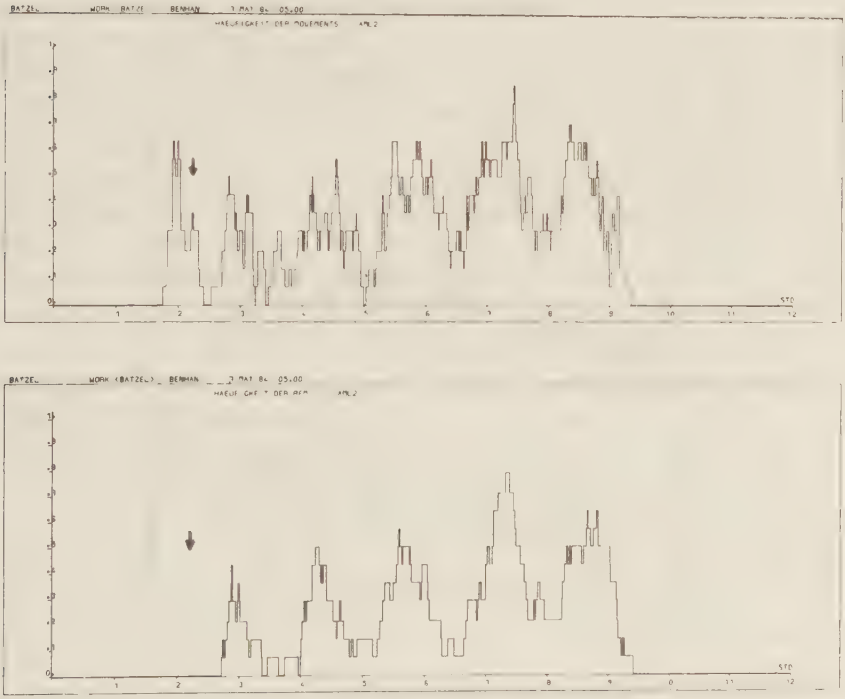


Abb. (8)

Verteilung von REM - Episoden (unten) und Körperbewegungen (oben). Die Nächte sind auf den Beginn von Stadium S2 synchronisiert. Epochenweise Summation über 14 aufeinanderfolgende Nächte von einer Versuchsperson (AML2).
↓ = Einschlafzeitpunkt

Diese Histogramme wurden zu einem Kurvenverlauf geglättet (mittlere und untere Abb. in Abb. (9)). Die Glättung erfolgte mit einem 45 - Minuten - Raster, in welchem kontinuierlich über den Kurvenverlauf Mittelwertberechungen durchgeführt wurden. Diesen Vorgang verdeutlichen die Spektren auf der rechten Seite in Abb. (9): der peak links von 0,010 auf der x - Achse stellt die geglätteten Kurvenwerte dar, alle Ausschläge rechts von 0,010 sind weggefiltert worden.

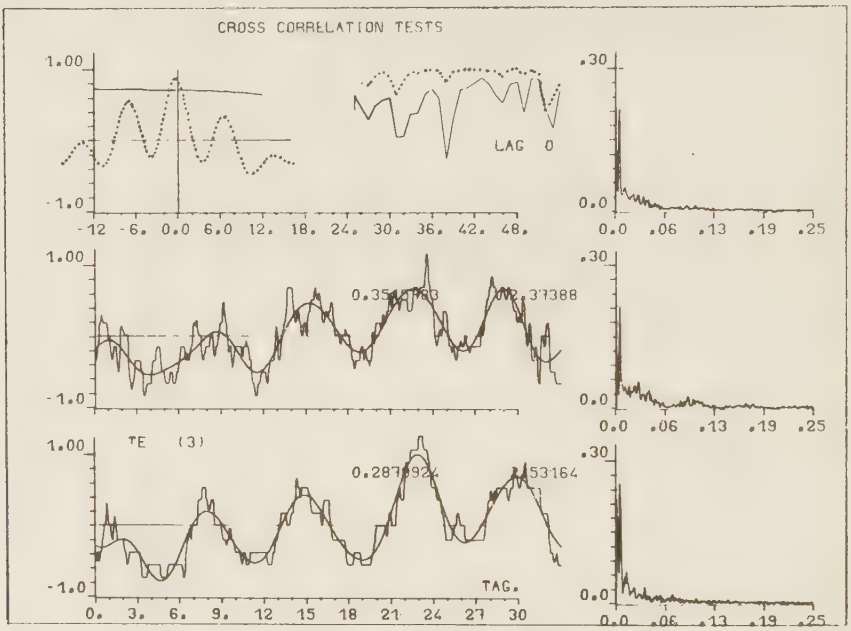


Abb. (9)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 14 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (AML2) abgebildet.
Mittlere Abb.: Verlauf der motorischen Aktivität,
untere Abb.: Verlauf der REM - Episoden,
in der oberen Abb. links ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet. Zur Summation sind alle Nächte auf den Beginn von Stadium S2 synchronisiert worden. Die Kurven auf der rechten Bildseite stellen die Spektren zur Kurvenglättung links dar. Die Darstellung der Varianz zeigt die Abb. oben Mitte.

Um die Koinzidenz zwischen REM - Episoden und Bewegungsverlauf aller aufeinanderfolgender Nächte einer Versuchsperson quantitativ zu erfassen, wurde ein Kreuz - Korrelationstest durchgeführt mit Berechnung der Produkt - Moment - Korrelation. Die Ergebnisse (Abb. (9) oben li.) sind in (Tab. (4)) und im Anhang wiedergegeben. Wie bei der Chi - Quadrat - Berechnung haben auch hier AML2 (r = + 0.70), AML1 (r = + 0.52) und KUL (r = + 0.59) die höchsten Werte. KEL (r = + 0.38), DHL1 (r = + 0.23) und DHL2 (r = + 0.14) grenzen an den, bzw. liegen im Zufallsbereich.
Weiterhin zeigt der Kreuz - Korrelationstest für AML1 das höchste Korrelationsergebnis um 14 Epochen in den negativen Bereich (nach links) verschoben (r = + 0.56) (siehe auch Abb. 15a, 4a und Tab. 9a im Anhang). Dieses Ergebnis ergibt sich aufgrund eines frühzeitigen Anstiegs der motorischen Aktivität vor Beginn der dritten REM - Episode mit einem Maximum, welches vor dem Maximum der dazugehörigen dritten REM - Episode liegt. AML2 und KUL zeigen keine Verschiebung. Die Verläufe von KEL, DHL1 und DHL2 lassen ebenfalls keine Verschiebungen erkennen. Bei diesen Versuchspersonen traten bei der Berechung kaum
positive Korrelationen auf (Tab. siehe Anhang).

	KUL	KEL	DHL1	DHL2	AML1	AML2
P-M						
Korrel.	0.59	0.38	0.23	0.14	0.52	0.70

Tab. (4)
Ergebnisse der Produkt - Moment - Korrelations - Berechnung

4.3.

Beziehung zwischen Körperbewegungen und REM - Episoden

In einem weiteren Schritt wurden die Intensität der motorischen Aktivität im Bereich der REM - Episoden berechnet.
Der Bewegungsverlauf vor, innerhalb und nach Beendigung der REM - Episoden ist nicht gleichförmig. Bei Betrachtung der Summation aller REM - Episoden der jeweiligen Versuchsperson ergibt sich folgendes charakteristisches Bild: kontinuierlicher Anstieg der Bewegungsintensität bis zum Beginn der REM - Episode, erhöhte Bewegungsdichte im Verlauf der REM - Episode und langsamer (KUL, KEL), bzw. steiler (AML1, AML2) Abfall nach REM - Beendigung. Von dieser Verlaufsform weicht die Versuchsperson DHL zum Teil ab (siehe Abb. (10 - 15) und Tab. (6)).
Werden jeweils 1., 2., 3. bzw. 4. REM - Episode für alle Nächte einer Versuchsperson getrennt betrachtet, so ergibt sich folgendes Bild: die erste und zweite REM - Episode bieten zum größten Teil uneinheitliche Verläufe (der Anstieg der motorischen Aktivität vor REM ist nicht kontinuierlich, innerhalb der REM - Episode zeigen sich Intervalle mit geringerer Bewegungsintensität als außerhalb von REM). Erst die dritte und vierte REM - Episode (Ausnahme DHL) zeigen wieder den oben beschriebenen Verlauf der motorischen Aktivität (Abb. (16), Tab. (7) und Anhang).

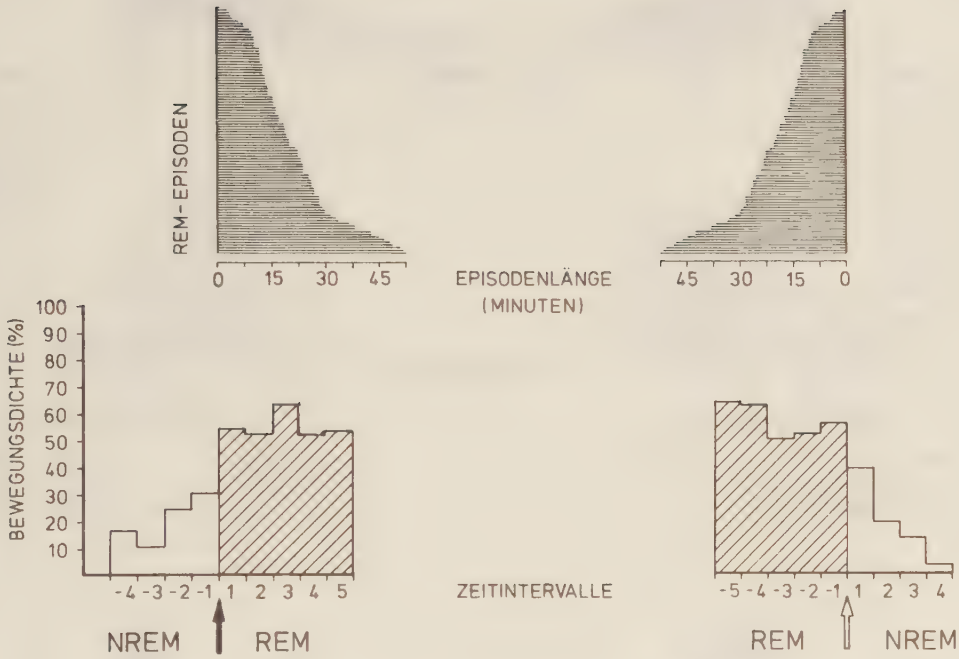


Abb. (10)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden. Jede Abb. besteht aus zwei Teilen. Der obere stellt die Länge der einzelnen REM - Episoden dar, links auf den Anfang, rechts auf das Ende der jeweiligen Episoden synchronisiert. Im unteren Teil ist die Bewegungsdichte dargestellt. Die nicht schraffierten Anteile stellen die Bewegungsdichte vor, bzw. nach REM - Episoden dar. Die schraffierten Teile zeigen die Bewegungsdichte während des REM - Schlafs. Auf der linken Bildhälfte ist die Bewegungsintensität vom Beginn der REM - Episode in Richtung deren Verlauf für maximal fünf Intervalle (37,5 Minuten) dargestellt. Auf der rechten Bildhälfte ist die Bewegungsdichte vom Ende der REM - Episode in Richtung Beginn auf die gleiche Art ermittelt und wiedergegeben worden. Der geschlossene Pfeil stellt den REM - Beginn, der offene Pfeil das REM - Ende dar. N = 23 Nächte von KUL.

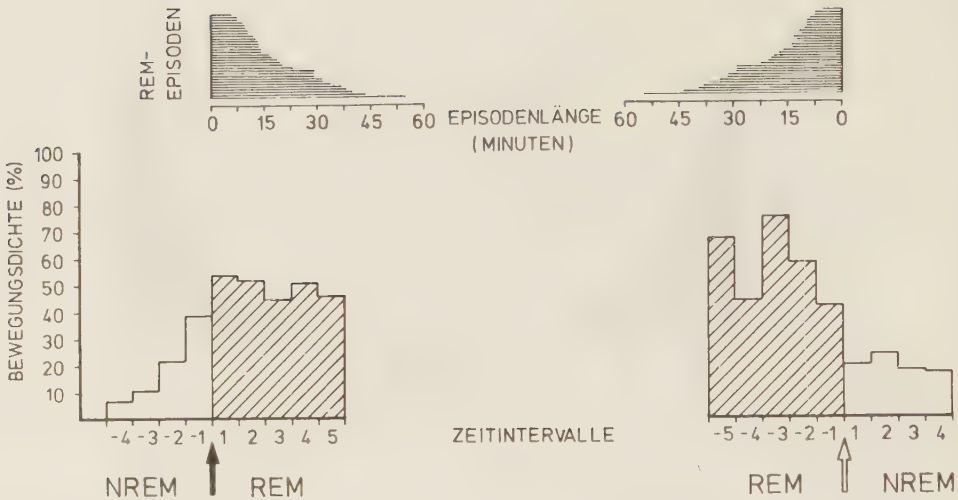


Abb. (11)
Beschreibung s. Abb. (10)
N = 8 Nächte von AML1.

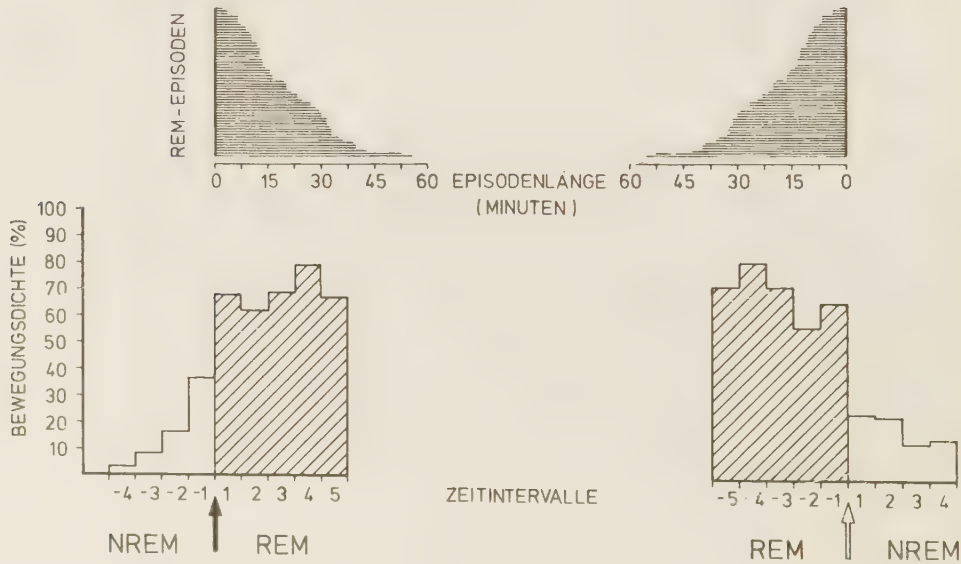


Abb. (12)
Beschreibung s. Abb. (10)
N = 14 Nächte von AML2.

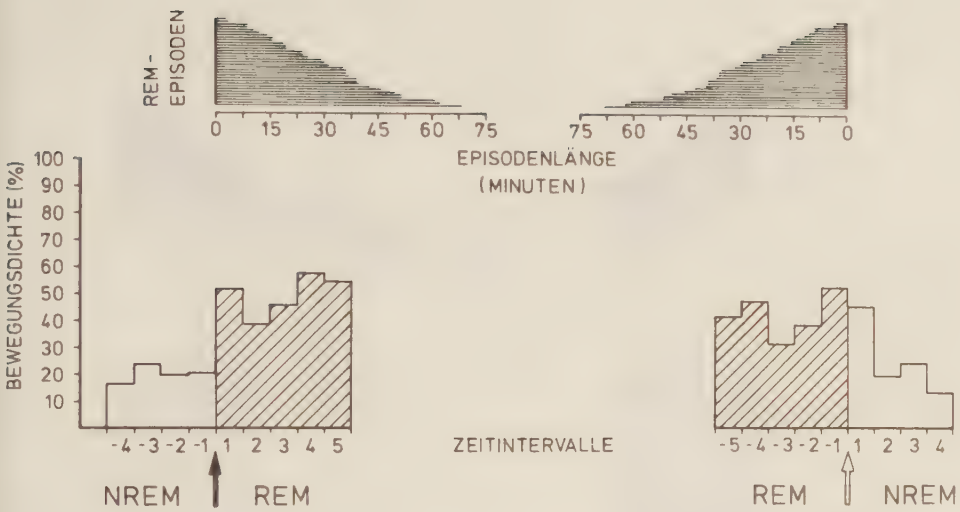


Abb. (13)
Beschreibung s. Abb. (10)
N = 9 Nächte von DHL1.

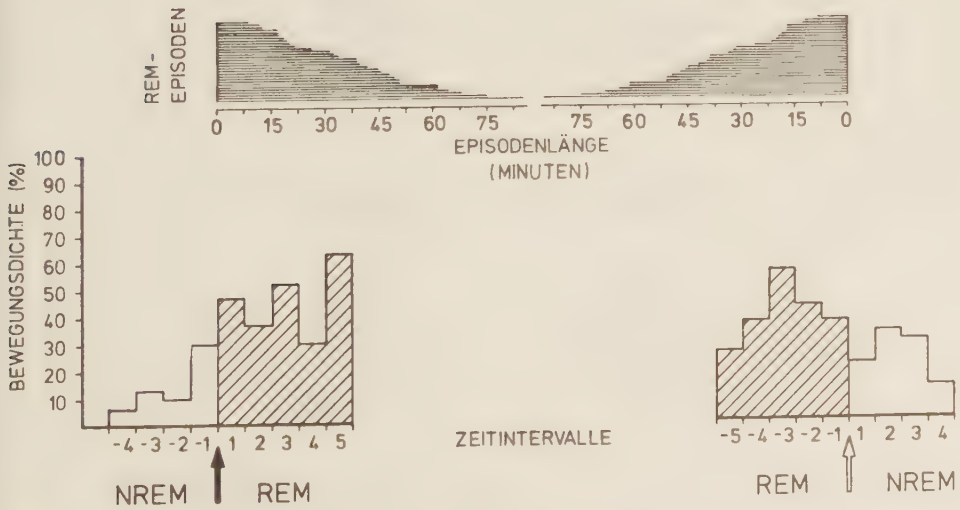


Abb. (14)
Beschreibung s. Abb. (10)
N = 10 Nächte von DHL2.

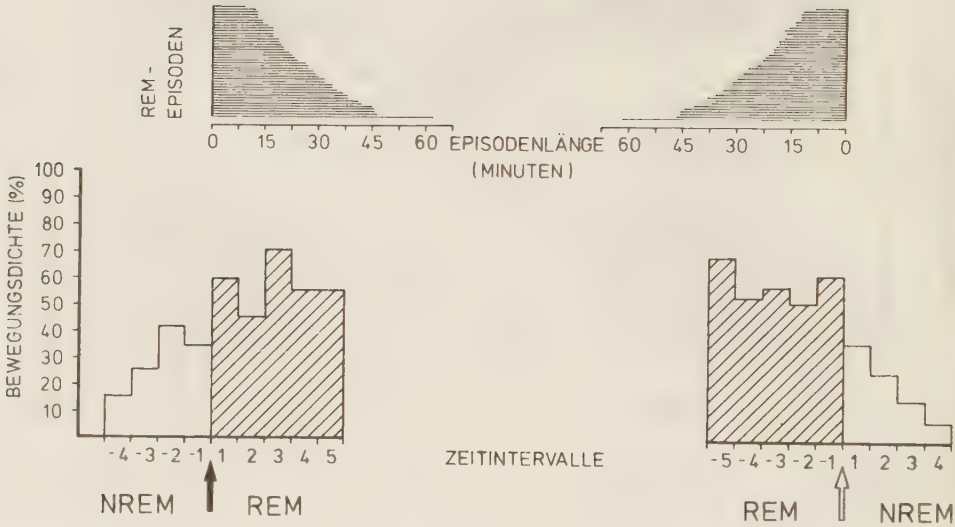


Abb. (15)
Beschreibung s. Abb. (10)
N = 11 Nächte von KEL.

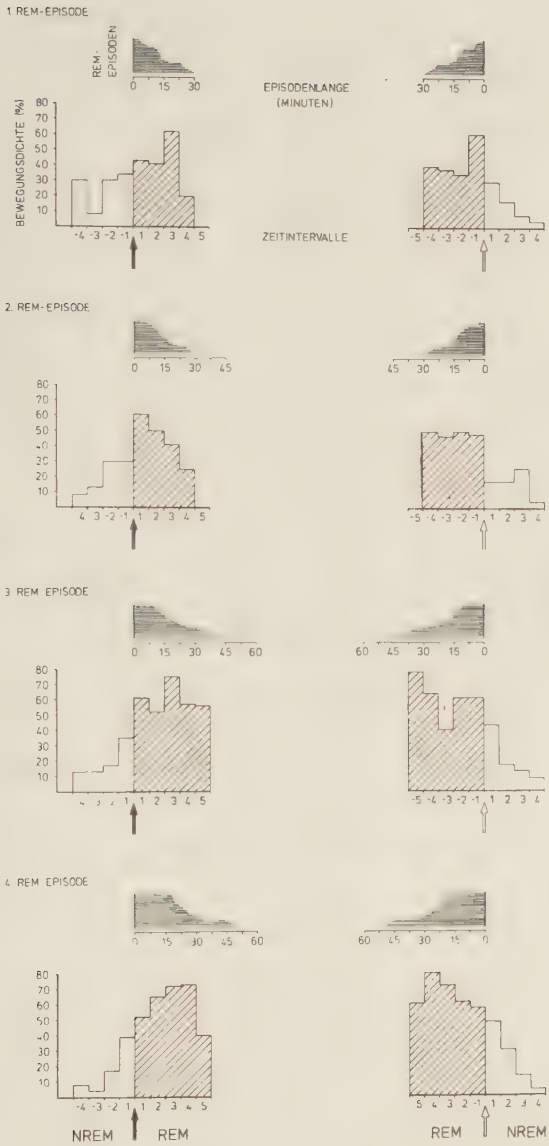


Abb. (16)
Beschreibung siehe Abb. (10)
In dieser Abb. sind die ersten vier REM - Episoden jeder Nacht mit der entsprechenden Bewegungsverteilung getrennt dargestellt.
N = 23 Nächte von KUL.

	REM - Beginn									REM - Ende								
	INTERVALL (7,5 MIN)																	
VP	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
KUL	17	11	25	31	54	53	64	53	54	65	64	51	53	56	40	20	14	4
KEL	26	26	42	35	59	46	71	56	56	69	54	58	52	64	37	26	16	8
DHL 1	17	24	20	21	52	39	46	58	55	42	48	32	39	52	46	20	25	14
DHL 2	7	13	10	30	47	37	52	29	63	26	38	56	43	37	20	33	30	13
AML 1	7	11	23	39	54	52	45	51	46	67	43	75	58	41	20	24	18	17
AML 2	3	9	16	37	66	62	69	81	67	76	81	76	57	68	25	23	13	14

Tabelle 6 Bewegungsverteilung pro Intervall (7,5 Min) bezüglich REM - Beginn und Ende. Erste Reihe: ausgewertete Intervalle vor REM (4), innerhalb (5 in Richtung REM - Ende und 5 von Ende in Richtung Beginn) und nach REM - Beendigung (4 Intervalle). Alle Daten sind Prozentangaben.

VP	REM - Episode 1	2	3	4
KUL	0.42 ±0.17	0.51 ±0.10	0.60 ±0.09	0.60 ±0.14
KEL	0.44 ±0.13	0.43 ±0.13	0.76 ±0.08	0.72 ±0.10
AML_1	0.33 ±0.06	0.50 ±0.35	0.60 ±0.24	0.76 ±0.12
AML_2	0.44 ±0.01	0.56 ±0.13	0.82 ±0.11	0.77 ±0.15
DHL_1	0.33 ±0.04	0.42 ±0.14	0.60 ±0.09	- -
DHL_2	0.39 ±0.19	0.47 ±0.15	0.46 ±0.16	- -

VP	REM - Episode 1	2	3	4
KUL	0.44 ±0.12	0.49 ±0.02	0.61 ±0.14	0.66 ±0.10
KEL	0.39 ±0.06	0.48 ±0.15	0.72 ±0.10	0.65 ±0.11
AML_1	0.33 ±0.06	0.55 ±0.07	0.58 ±0.11	0.63 ±0.25
AML_2	0.36 ±0.10	0.59 ±0.15	0.81 ±0.09	0.79 ±0.14
DHL_1	0.30 ±0.21	0.40 ±0.09	0.48 ±0.09	- -
DHL_2	0.49 ±0.13	0.34 ±0.20	0.41 ±0.14	- -

Tab. (7)

Bewegungsdichte pro REM - Episode in Prozent (Mittelwert)
Obere Tab.: Werte auf den Beginn von REM synchronisiert,
Untere Tab.: Werte auf das Ende von REM synchronisiert.

Bei der Analyse der einzelnen REM - Episoden fällt ein weiteres Charakteristikum auf. Die Bewegungsintensität während der ersten REM - Episode ist bei allen Versuchspersonen (außer DHL2) im Vergleich zu den folgenden Episoden am niedrigsten. Über die zweite hin ansteigend finden sich im Mittel in der dritten und (oder) vierten Episode Maximalwerte. Die Verteilung der Bewegungshäufigkeit innerhalb aufeinanderfolgender REM - Episoden ist in Abb. (17) graphisch dargestellt.

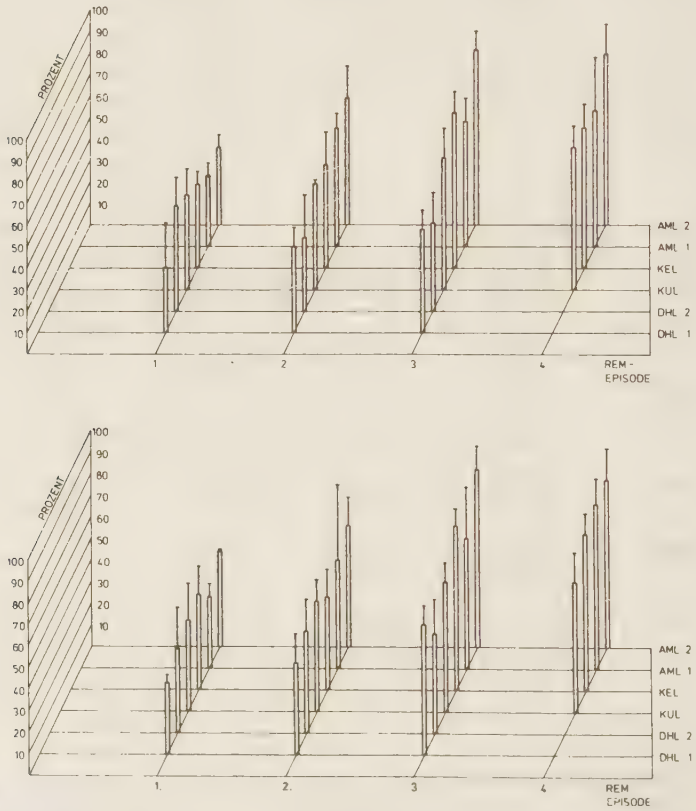


Abb. (17)

Bewegungsdichte in Prozent für die jeweiligen REM - Episoden. DHL_1 und DHL_2 hatten in fast allen Nächten nur jeweils 3 REM - Episoden.
Das obere Bild zeigt die Bewegungsintensität der auf den Beginn synchronisierten REM - Episoden.
Das untere Bild ist auf das Ende synchronisiert.

4.4

Einschlaflatenz

Der Zusammenhang von polygraphisch definiertem Einschlafzeitpunkt (erstes Auftreten von S2) und den über einen Intensitätsabfall im Bewegungsprofil angenommenen Einschlafzeitpunkt wurde mit Hilfe eines Vier - Felder - Tests und anschließender Chi - Quadrat - Berechnung überprüft. Hierzu wurden die in Tab. 8 aufgeführten Einschlaflatenzpaare für jede Versuchsperson gesondert gemäß der Anordnung eines Vier - Felder - Tests vier Gruppen zugeordnet. Die Gruppenzugehörigkeit wurde bezüglich der Latenzlänge definiert.

Das Beispiel von AML2 verdeutlicht diesen Vorgang:

Einschlaflatenzdaten aus Tab. 8:

Nacht-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Polygr.	8	8	9	10	12	12	12	12	13	13	17	17	18	20
Aktogr.	15	7,5	0	22,5	7,5	7,5	15	7,5	0	7,5	7,5	7,5	7,5	15

Zuordnung dieser Daten zu einem Vier - Felder - Test:

Aktogr. / Polygr.	0	7,5	15	22,5
≤ 8		|	|	
8 ≤ 10	|	2	2	|
10 ≤ 13	|	8 |||||	2 |	
13 ≤ 20		|||	|	

Berechnung des Chi - Quadrat - Wertes: p = 0,3107.

Der polygraphisch definierte Einschlafzeitpunkt (erstes Auftreten von Stadium S2) fällt für die Hälfte der untersuchten Stichprobe mit einem Intensitätsabfall im Bewegungsprofil zusammen. Für KUL (p = 0,0033), DHL1 (p = 0,0152), und KEL (p = 0,0879) ist diese Übereinstimmung auf dem 0.1 - Prozent - Niveau signifikant (siehe Tab. 9). Bei DHL2 (p = 0,5476), AML1 (p= 0,1786) und AML2 (p = 0,3107) ist eine Zuordnung beider Variablen möglich (siehe auch Abb. 18 und 19): die Wahrscheinlichkeitswerte erreichen nicht das Signifikanzniveau (siehe Tab. 9). KEL zeigt in drei Nächte eine auffallende Diskrepanz zwischen den polygraphisch und aktographisch definierten Einschlafzeitpunkten (siehe Tab. 8 und Abb. 19). In den acht ande-

Nachtnr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
DHL_1	3	6	6	8	9	10	16	17	18	18	26													Polygr.
	7,5	7,5	7,5	15	7,5	7,5	7,5	22,5	30	22,5	37,5													Actogr.
DHL_2	4	5	5	6	10	11	14	14	17	25														Polygr.
	15	22,5	22,5	15	22,5	45	15	30	15	22,5														Actogr.
AML_1	11	13	14	15	20	23	24	28																Polygr.
	30	30	7,5	22,5	30	45	37	37																Actogr.
AML_2	8	8	9	10	12	12	12	12	13	13	17	17	18	20										Polygr.
	15	7,5	0	22,5	7,5	7,5	15	7,5	0	7,5	7,5	7,5	7,5	15										Actogr.
KEL	3	5	6	7	8	8	8	8	10	11	14													Polygr.
	7,5	22,5	22,5	22,5	7,5	7,5	7,5	15	7,5	7,5	7,5													Actogr.
KUL	4	7	9	9	15	15	16	16	17	17	17	17	17	18	21	22	24	27	32	35	35	36	44	Poygr.
	7,5	7,5	7,5	7,5	15	22,5	7,5	15	30	15	15	22,5	15	15	22,5	15	30	30	30	60	30	30	45	Actogr.

Tab. (8)

Einschlaflatenz in Minuten (Polygraphie und Aktogrammdaten)
Nächte nach Einschlaflänge sortiert.

VP	Schlaflatenz durch Polygraphie (min)	Schlaflatenz durch aktographische Daten definiert (min) 0	7,5	15	22,5	30	37,5	45	Signifikanz der Beziehung beider Parameter
DHL_1		--	8,3	8	17,5	18	26	--	.0152
DHL_2		--	--	10,3	11,3	14	--	11	.5476
AML_1		--	14	--	15	14,7	26	--	.1786
AML_2		11	13,6	13,3	10	--	--	--	.3107
KEL		--	8,9	8	6	--	--	--	.0879
KUL		--	9	17,4	17,7	28,5	--	44	.0033

Tab. (9)

Beziehung zwischen polygraphisch definiertem Einschlafzeitpunkt (Beginn von S2) und durch Aktographen festgelegten Einschlafzeitpunkt (erstes Intervall ohne Bewegung). Der durch den Aktographen festgestellte Einschlafzeitpunkt liegt bei DHL z. B. bei 7,5 Minuten, während für dieses Intervall der polygraphisch definierte Zeitpunkt bei 8,3 Minuten liegt.

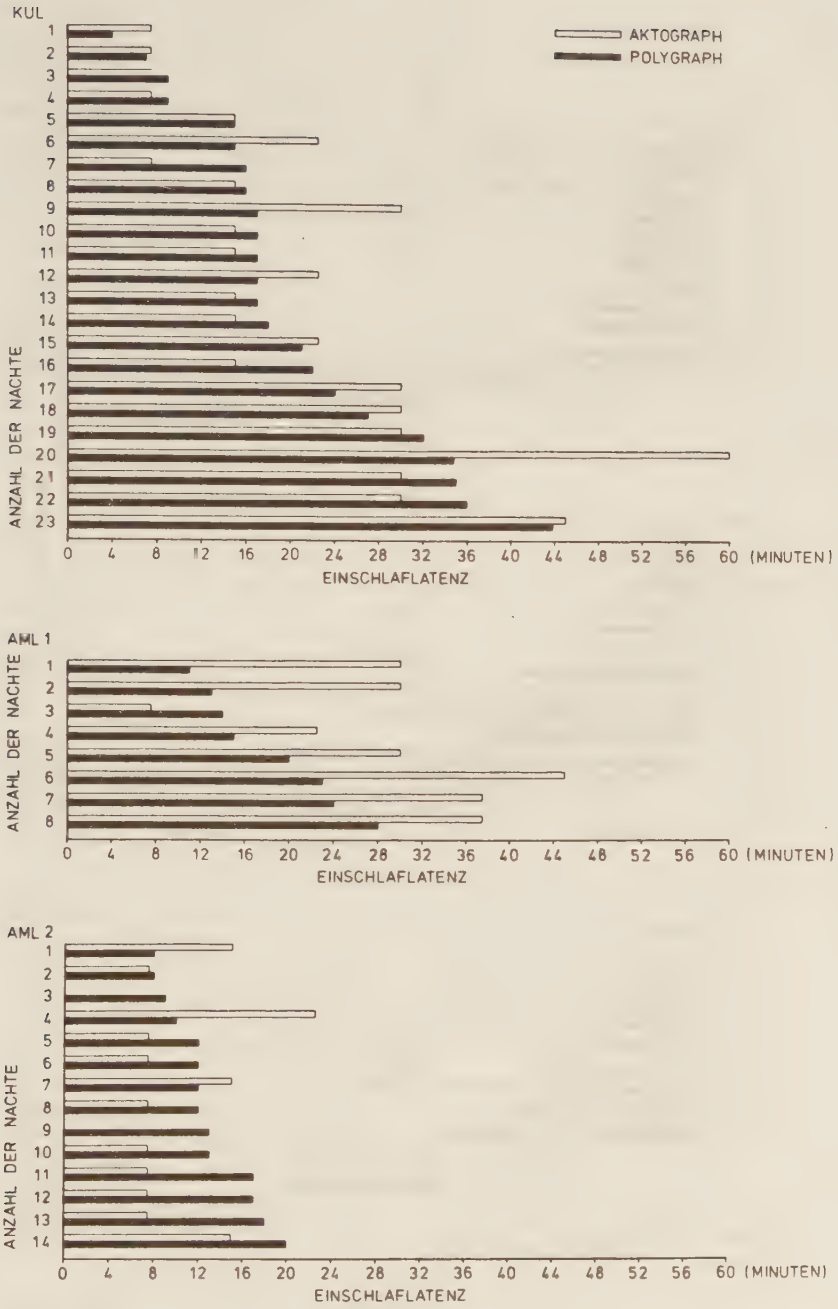


Abb. (18)

Vergleich zwischen polygraphisch definiertem Einschlafzeitpunkt (ausgefüllte Säulen) und durch den Aktographen festgestelltem Einschlafzeitpunkt (offene Säulen). Die Nächte sind nach der Länge der Schlaflatenz sortiert.

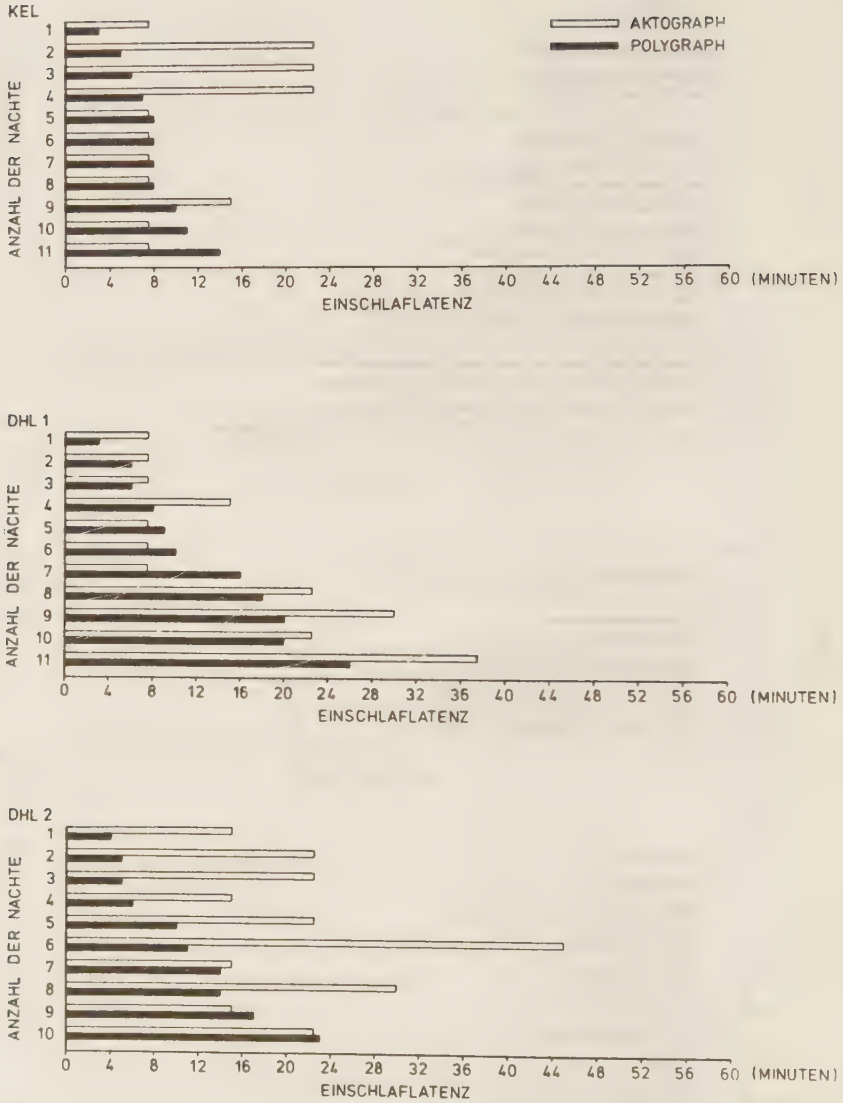


Abb. (19)
Beschreibung s. Abb. (18)

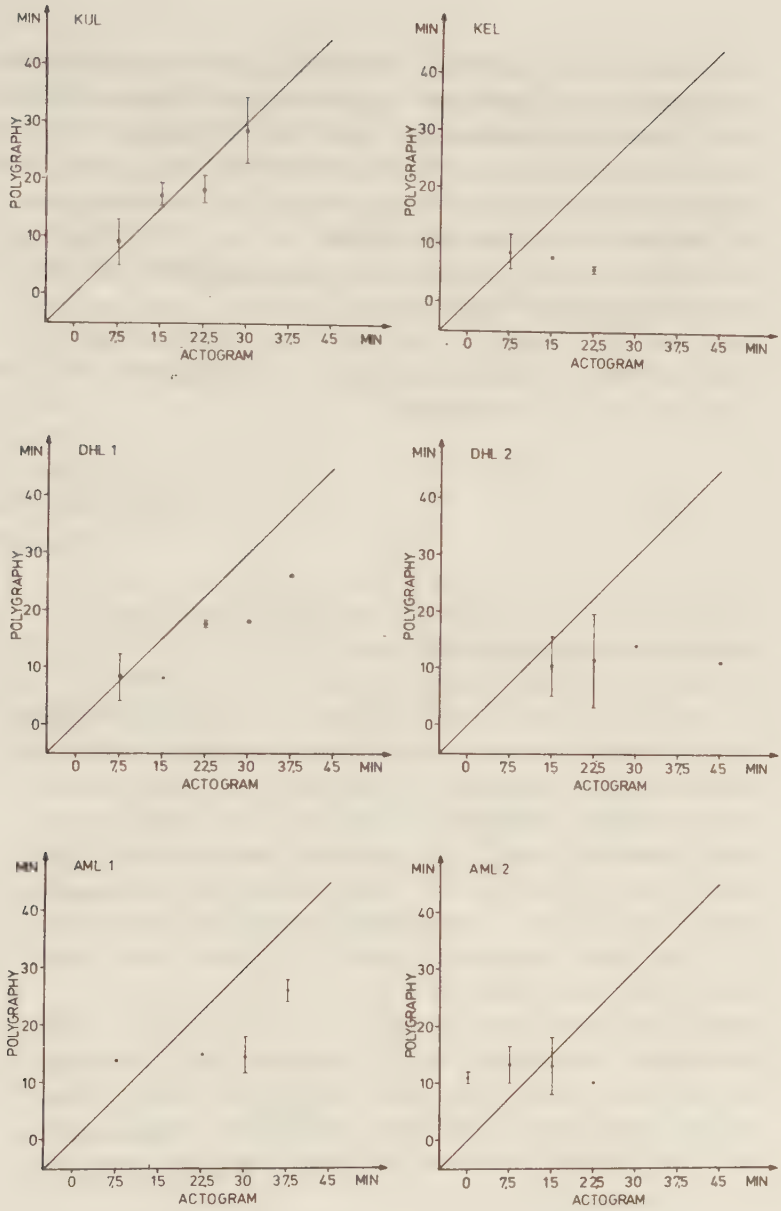


Abb. (20)

Darstellung der Beziehung zwischen polygraphisch und aktographisch definiertem Einschlafzeitpunkt. (Mittelwert mit Streuung (S_2))

ren Nächten ist die Übereinstimmung gut, so daß der Chi - Quadrat - Test ein signifikantes Ergebnis aufweist unter Zugrundelegung eines 0,1 - Prozent - Niveaus. Tab. (8) zeigt die Ergebnisse der polygraphisch festgesetzten Einschlaflatenz und die im Bewegungsprofil festgesetzte Einschlaflatenz. In Tab. (9) sind die Mittelwerte dieser Ergebnisse wiedergegeben. Graphische Gegenüberstellungen beider Indices stellen Abb. (18) und Abb. (19) dar. In Abb. (20) ist die Korrelation beider Parameter dargestellt. Die Daten hierzu sind der Tab. (9) entnommen.

4.5.

Validitätstest von Daten des ambulanten Bewegungsmessers und des Bettaktographen

Die mit Hilfe des Bettaktogramms und polygraphischer Aufzeichnung definierten Bewegungen der Klasse 1 zeichnet der ambulante Bewegungsmesser nur zu 10 % (empfindlicher Aktograph), bzw. zu 5 % (unempfindlicher Aktograph) auf. Eine einzelne Bewegung der Klasse 2 wird in 37 %, bzw. 13 % der Intervalle wiedergegeben. Einzelne 3er - Bewegungen werden mit 85 %, bzw. 45 % am zuverlässigsten durch den ambulanten Bewegungsmesser aufgezeichnet.
Tab. (10), Abb. (21) zeigen den Kurvenverlauf einer steigenden Bewegungsdichte (Summation von Bewegungen der Klassen 2 und 3 pro Intervall) relativ zur prozentualen Wiedergabe durch den ambulanten Bewegungsmesser. Der Anstieg der Kurve des empfindlichen Bewegungs-

messers ist steiler. Eine hundertprozentige Wiedergabe der durch den Bettaktographen aufgezeichneten Bewegungen ist erst ab einer Intensität von ´11´ durch beide ambulanten Bewegungsmesser möglich (siehe Tab. (10)).

Bettaktogramm: Art der Bewegung	einzelne Bewegungen der Klassen 1	2	3
empfindlicher ambulanter Bewegungsmesser	10 %	37 %	85 %
unempfindlicher ambulanter Bewegungsmesser	5 %	13 %	45 %

Tab. (11)
Häufigkeit (in Prozent) der Wiedergabe einzelner nach oben genannter Klassifikation eingeteilter Bewegungsarten der polygraphisch definierten Motorik durch den ambulanten Bewegungsmesser.

	Bewegungsintensität/Intervalle (Bettaktogramm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
empfindlicher amb. Bewegungsaufnehmer	0	37	85	69	88	74	78	94	100	87	100	100	100	100	100	100		
unempfindlicher amb. Bewegungsaufnehmer	0	14	45	31	63	61	73	76	87	93	100	100	100	100	100	100	100	100

Häufigkeit in Prozent

Tab. (10)
Vergleich von polygraphisch definierten Bewegungsdaten mit den Daten des ambulanten Bewegungsmessers. Die obere Zeile stellt Intervalle mit steigender Bewegungsdichte (definiert am Bettaktogramm) dar. Hierbei wurden nur die gewichteten Bewegungen der Klassen 2 und 3 berücksichtigt. Die sich darunter befindenden Zeilen stellen die prozentuale Häufigkeit der Bewegungsaufzeichnung durch die ambulanten Bewegungsaufnehmer relativ zur Bewegungsdichte der Bettaktogrammauswertung dar.

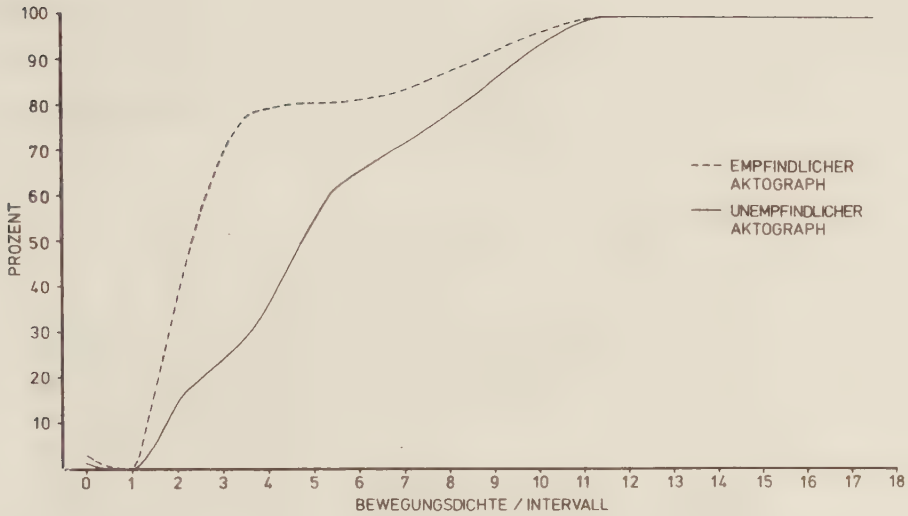


Abb. (21)
Darstellung der Übereinstimmung von Bettaktographen und ambulanten Bewegungsmessern.

X-Achse: Bewegungsdichte pro Zeitintervall des Bettaktogramms
Y-Achse: Prozentuale Häufigkeit der Bewegungsregistrierung der Aktographen (empfindlich, weniger empfindlich) in Bezug zur Bewegungsdichte pro Zeitintervall, ermittelt durch polygraphische Aufzeichnung und Bettaktographen (X-Achse)

Die Kurve ist über jeweils zwei Intervalle (Mittelwertberechnung) geglättet worden.

5.

Diskussion

Wachen und Schlafen sind durch ein jeweils unterschiedliches Aktivitätsniveau gekennzeichnet. Während im Wachzustand aufgrund aktiver Auseinandersetzung mit der Umwelt motorische Aktivität dominiert, treten im Schlaf nur vereinzelt Bewegungen auf. Dennoch zeigen sich auch im Wachzustand immer wieder Perioden stark verminderter Motilität (z. B. beim Meditieren, autogenem Training, usw.); andererseits gibt es im Schlaf Phasen mit erhöhtem Bewegungsniveau. In der vorliegenden Arbeit sollte die Frage beantwortet werden, mit welcher Genauigkeit sich Schlaf- und Wachzustände mit Hilfe von Motorikmessungen unterscheiden lassen, und ob aus den motorischen Daten Rückschlüsse auf den Vigilanzzustand eines Individuums gezogen werden können.

5.1.

Untersuchungen unter Isolationsbedingungen (Bunker)

Schlafen und Wachen, bzw. Ruhe- und Aktivitätsperioden wurden bei vier Probanden über einen Zeitraum von 54, bwz. 72 Stunden kontinuierlich polygraphisch registriert. Gleichzeitig wurde die motorische Aktivität mit Hilfe eines Aktographen gemessen. Es ergab sich eine Übereinstimmung von 85 % für die Unterscheidung von Wach- und Schlafzuständen.

Dabei erwies sich die Motorikvariable als zuverlässiger für die Erkennung von Schlafphasen als für die Festlegung von Wachphasen (Schlaf-Phasen-Übereinstimmung: 90 %, Wach-Phasen-Übereinstimmung: 83,7 %). Diese Ergebnisse entsprechen Angaben in der Literatur. Kripke und Mullaney, 1978 (23) berechneten bei der Festlegung von Schlafperioden mittels elektrophysiologischer Information einerseits und aktographisch erhobenen Daten andererseits einen Übereinstimmungswert von 0,954. Für die Erkennung von Wachzeiten innerhalb der Schlafperioden geben sie einen Wert von 0,851 an. Die Untersuchungen wurden an gesunden Probanden unter Normalbedingungen durchgeführt.
In einer weiteren Arbeit geben Webster, Kripke, Mullaney, 1982 (44) eine Übereinstimmung beider Parameter (EEG, Aktograph) von 94,5 % über eine 24 - Stunden - Versuchsdauer an.

Die Werte der vorliegenden Arbeit sind insgesamt etwas niedriger. Diese Differenzen lassen sich größtenteils aus den unterschiedlichen Versuchsbedingungen erklären: die vorliegenden Daten wurden unter Bunkerbedingungen erhoben, d. h. unter zeitlicher und sozialer Isolation. Dies führte bei allen Versuchspersonen zu einer Veränderung ihrer Schlaf - Wach - Rhythmen. Die Wachzeiten waren verlängert. Die Schlafphasen waren häufig durch kurze Wachepochen unterbrochen. Zudem waren die Probanden vor Versuchsbeginn angewiesen worden, sich während der Wachzeiten möglichst inaktiv (´disentrainment´ - Bedingung) zu verhalten. Längere Phasen ausgeprägter Inaktivität wurden dann aufgrund fehlender Bewegungen im Motorikprofil als Schlaf interpretiert. Diese, durch die Versuchsanordnung bedingte Einschränkung in der Zuordnungssicherheit, spiegelt sich am deutlichsten in den Ergebnissen von CWB wider. Die Übereinstimmung beträgt hier nur 75 %. Nach Beendigung des Versuchs gab der Proband an, die Wachzeiten häufig meditierend verbracht zu haben: die niedrige Motilitätsrate führte dazu, daß diese Phasen oft als Schlafepisoden gedeutet wurden, obwohl die polygraphischen Daten ein eindeutiges Wach - EEG anzeigten.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Verteilung von Wach-, bzw. Schlafzuständen anhand des motorischen Aktivitätsniveaus insgesamt gut zu beurteilen ist. Zeiträume, in denen der Vigilanzzustand eines Individuums nicht mit eindeutigem Bewegungsverhalten gekoppelt ist (stark erhöhte Schlafmotorik, oder fehlende Körperbewegung im Wachzustand) stellen jedoch Fehlerquellen dar.

5.2.

Körpermotorik und REM - Episoden

5.2.1.

Schlafstrukturanalyse

In der Literatur finden sich Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen nächtlicher Bewegungsintensität und Schlafstadien. In einigen Studien konnte nachgewiesen werden, daß die Bewegungsrate im Bereich der REM - Episoden am höchsten ist (Wilde-Frenz und Schulz, 1982) (46), während im Delta - Schlaf selten oder keine Bewegungen auftreten (Sassin und Johnson, 1968) (36) und (Dement und Kleitman, 1957) (11). In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob mit Hilfe eines ambulanten Bewegungsmessers die innere Struktur des Schlafs (REM - NREM - Periodik) darstellbar ist.

Die Resultate der vorliegenden Studie zeigen, daß bei Summation über alle Nächte pro Versuchsperson eine enge Beziehung von REM - Periodik und Bewegungshäufigkeit besteht. Diese zeitliche Koinzidenz von REM - Periodik und Bewegungsverhalten gilt bei zwei Versuchspersonen auch für einzelne Nächte. Bei diesen Probanden konnte in der Mehrzahl der Nächte (KUL: 70 %,

AML1: 88 %, AML2: 100 %) die REM - NREM - Periodik mit Hilfe der Körpermotorik erfaßt werden. Bei den beiden anderen Probanden zeigte sich dieser Zusammenhang weniger deutlich (KEL: 46 %, DHL1: 44 %, DHL2: 40 %). Die berechneten Korrelationskoeffizienten für die Koinzidenz von REM - Periodik und Bewegungsintensität variieren jedoch

a) erheblich innerhalb der Versuchspersonen, zwischen den Versuchsnächten (außer AML)

b) zwischen den Versuchspersonen.

Die Annahme, daß Nächte mit nicht signifikanten Ergebnissen möglicherweise mit einem eindeutig verändertem quantitativen Anteil in der Schlafstadienverteilung einhergehen, konnte (außer bei DHL1) nicht bestätigt werden (Tab.11). Eine Erklärung für die intraindividuelle Varianz ergibt sich durch die Analyse der Schlafqualitätskoeffizienten (a). In Nächten mit geringer (nicht signifikanter) Korrelation zwischen REM - Episoden und Bewegungshäufigkeit findet sich ein erhöhter Wachanteil. In diesen, meist kurzen Wachepisoden, tritt eine erhöhte Anzahl von Körperbewegungen auf, die eine Erhöhung der NREM - Bewegungsrate (b) zur Folge hat.

In einigen Nächten ist trotz niedrigen Wachanteils und normaler Schlafstadienverteilung kein Zusammenhang

(a) Schlafqualitätskoeffizient: der Koeffizient wird aus dem prozentualen Wachanteil an der Gesamtschlafzeit ermittelt.

(b) Die NREM - Bewegungsrate schließt hier den Anteil der Wachphasen mit ein.

Schlafstadien

VP	Anz. d. Nächte		W	REM	1	2	3	4
KUL	23	A	0,74 ±0,92	22,20 ± 2,64	8,50 ± 1,90	50,80 ± 1,90	7,32 ± 1,45	8,80 ± 2,70
		B	1,00 ±0,77	19,60 ± 1,45	8,60 ± 1,31	52,72 ± 3,03	6,93 ± 1,71	9,81 ± 3,02
DHL_1	9	A	3,31 ±2,12	19,74 ± 1,79	6,02 ± 0,82	37,30 ± 5,32	19,68 ± 2,76	12,33 ± 6,38
		B	5,67 ±3,41	20,67 ± 2,17	5,93 ± 2,71	39,08 ± 6,11	20,03 ± 3,82	7,07 ± 5,24
DHL_2	10	A	2,91 ±3,66	21,54 ± 3,50	6,28 ± 0,59	41,48 ± 4,02	19,28 ± 3,38	7,03 ± 3,05
		B	3,27 ±2,54	21,36 ± 2,56	7,51 ± 0,81	44,95 ± 3,41	15,86 ± 2,62	5,38 ± 3,48
AML_1	8	A	0,99 ±0,31	24,24 ± 2,03	3,23 ± 0,97	49,37 ± 3,21	5,99 ± 1,24	15,05 ± 3,34
		B	1,95	22,57	2,57	52,00	2,75	16,61
AML_2	14	A	0,86 ±0,54	23,29 ± 5,86	4,37 ± 1,96	51,91 ± 3,21	4,78 ± 1,63	13,93 ± 3,71
		B	-	-	-	-	-	-
KEL	9	A	0,56 ±0,33	22,62 ± 1,02	3,71 ± 0,97	50,68 ± 0,87	9,72 ± 2,33	9,33 ± 0,56
		B	1,97 ±1,45	23,86 ± 2,11	2,48 ± 1,65	50,18 ± 1,18	11,11 ± 1,93	8,97 ± 2,56

Tab. (11)

Durchschnittlicher Zeitanteil der einzelnen Schlafstadien und Stadium Wach am Gesamtschlaf (Mittelwerte und Standardabweichung)

A: Nächte mit signifikantem Korrelationskoeffizient zwischen Bewegungsintensität und zeitlicher Verteilung von Stadium REM

B: Nächte mit nicht signifikantem Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Parametern.

Die großen Standardabweichungen ergeben sich dadurch, daß der Anteil an Stadium Wach in verschiedenen Nächten nicht normal, sondern linksschief verteilt ist.

zwischen REM - Periodik und erhöhter Motorik nachweisbar. Dies könnte u. a. über den Einfluß externer Reize auf die Schlafmotorik begründet werden. Muzet et al, 1974 (30) berichten über ein Experiment, bei welchem sie über einen Zeitraum von 30 Nächten ihre Versuchspersonen einem alle 22 Sekunden wiederkehrenden Schallreiz von 80, 85 und 92 Dezibel aussetzten. Die Autoren konnten nachweisen, daß akustische Stimuli von leichter bis mittlerer Intensität die zeitliche Verteilung von Körperbewegung im Schlaf zu beeinflussen vermögen. Obwohl das Schlaflabor relativ gut gegen akustische Reize abgeschirmt ist, sind den Schlaf beeinträchtigende Geräusche (Klimaanlage, Gewitter, ungewöhnliche Geräusche im Institut) in nicht allen Nächten auszuschließen.

Ein Anteil an der interindividuellen Varianz ist ebenfalls durch unterschiedlich lange Wachanteile erklärbar. So beträgt bei einer Versuchsperson mit hohen Korrelationskoeffizienten bei der Koinzidenzberechnung von REM - Periodik und Bewegungsverhalten (AML2) der mittlere Prozentsatz an Stadium Wach über alle Nächte 0,86 % ± 0,54 %, während DHL1 (Versuchsperson mit niedrigsten Korrelationskoeffizienten) einen mittleren Wachanteil von 4,58 % ± 2,38 % aufweist (Tab. (12)).

Weiterhin zeigt das Bewegungsprofil von DHL auffällig viele Bewegungen während des NREM-Schlafs. Coleman und Weitzman, 1982 (10) beschreiben eine Schlafstörung, die sie als "restless legs syndrom" bezeichnen. In dieser Studie berichten die Autoren von Beinbewegungen, die mit einer mittleren Periodenlänge von 20 Sekunden auftreten. Sie werden vornehmlich durch den

musculus tibialis ausgelöst. Diese stereotypen, nicht epileptiformen Bewegungen treten primär im NREM - Schlaf auf, sind aber auch häufig im relaxierten Zustand vor dem Schlafbeginn zu finden. Sie können zu Einschlafstörungen führen.

Die Analyse der polygraphischen Daten von DHL ergab, daß bei dieser Versuchsperson in einigen Nächten Beinbewegungen in Zeitintervallen von ca. 20 Sekunden auftraten (siehe Abb. (22)).

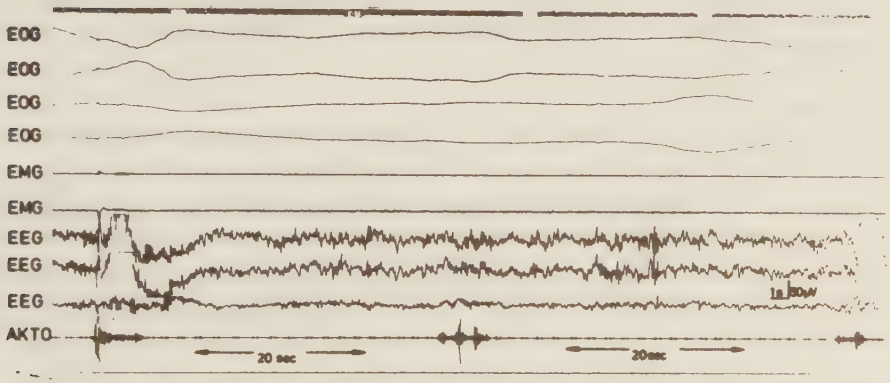


Abb. (22)

Ausschnitt (50 Sekunden) aus der polygraphischen Schlafaufzeichnung von DHL1. Die oberen vier Kanäle zeigen: okulomotorische Ableitung von beiden Augen (horizontal und vertikal). Die darunter befindlichen Kanäle zeichnen elektromyographische Daten mittels Elektroden am Kinn und vom Mundboden auf. Die folgenden Kurven zeigen unipolar von der Zentralregion abgeleitete Electroencephalogramme. Der unterste Kanal zeigt Bettaktogrammausschläge. Der Ausschnitt stellt eine Aufzeichnung vom Stadium S2 dar, mit deutlichen, in 20 - Sekunden - Abstand auftretenden Ausschlägen des Bettaktogramms ohne Aktivierung der Kinnmuskulatur.

Diese periodisch sich wiederholenden Beinbewegungen wurden hauptsächlich zu Beginn des Schlafs und im ersten Nachtdrittel beobachtet. In diesen Nächten war ausserdem der prozentuale Anteil von Stadium S4 deutlich verringert. In diesem Zusammenhang ist auch das oben erwähnte Untersuchungsergebnis zu interpretieren, daß bei DHL in Nächten mit geringer Koinzidenz von REM - Episoden und Motilitätsverlauf eine quantitative Veränderung in der Schlafstadienverteilung zu finden ist: in Nächten mit signifikanten ($p \leq 0,05$) Korrelationskoeffizienten liegt der prozentuale, mittlere Anteil von Stadium S4 höher (DHL1: 12,33 % ± 6,38 %, DHL2: 7,03 % ± 3,05 %) als in Nächten mit nicht signifikanter Korrelation von Bewegungsintensität und REM - Periodik (DHL1: 7,07 % ± 5,24 %, DHL2: 5,38 % ± 3,48 %).

Obwohl es sich hier mit großer Wahrscheinlichkeit um die von Coleman und Weitzman beschriebene Schlafstörung handelt, fühlte sich die Versuchsperson subjektiven Angaben zufolge in ihrem Schlaf nicht gestört.

Die Ergebnisse zeigen, daß in der Mehrzahl aller registrierten Nächte die aktographisch erhobenen Daten einen Rückschluß auf die innere Struktur des Schlafs erlauben. Die Analyse der Daten von DHL geben außerdem Anlaß zu der Annahme, daß der ambulante Bewegungsmesser eine Hilfe bei der Erfassung von Schlafstörungen sein kann.

Schlafstadien

VP	Anz. d. Nächte	W	REM	1	2	3	4
KUL	23	0,81 ±0,88	21,51 ± 2,76	12,03 ± 1,63	51,30 ± 2,27	7,19 ± 1,48	9,07 ± 2,78
DHL_1	9	4,60 ±5,17	20,25 ± 2,35	5,97 ± 1,42	38,28 ± 6,78	19,87 ± 3,03	9,46 ± 5,28
DHL_2	10	3,13 ±3,04	19,60 ± 6,56	7,02 ± 0,95	43,53 ± 4,10	17,23 ± 3,39	6,01 ± 3,38
AML_1	8	1,00 ±0,61	24,61 ± 1,95	3,23 ± 0,56	49,38 ± 3,21	5,43 ± 2,39	15,03 ± 2,54
AML_2	14	0,86 ±0,54	23,29 ± 5,86	4,37 ± 1,96	51,91 ± 3,21	4,78 ± 1,63	13,93 ± 3,71
KEL	9	1,33 ±2,27	23,29 ± 1,79	2,97 ± 1,39	50,41 ± 1,51	11,40 ± 1,51	9,56 ± 1,91

Tab. (12)
Prozentualer Anteil der einzelnen Schlafstadien und Stadium Wach am Gesamtschlaf (Mittelwerte und Standardabweichung)

Die großen Standardabweichungen ergeben sich dadurch, daß der Anteil an Stadium Wach in verschiedenen Nächten nicht normal, sondern linksschief verteilt ist.

5.2.2.

Zusammenhang zwischen zentralnervöser Aktivierung und Körperbewegung im Schlaf

Untersuchungsergebnisse mehrerer Autoren legen die Vermutung nahe, daß zwischen den periodisch verlaufenden Aktivitätsänderungen im Schlaf und dem Auftreten von Körperbewegungen ein enger Zusammenhang besteht (Dement und Kleitman 1957) (11) und (Otto et al 1970) (32).
Otto et al, 1970 (32) fanden, daß bei 79 % von 270 untersuchten Körperlagewechseln das EEG nach den Bewegungen vorrübergehend Wach - Aktivität aufwies. Wilde-Frenz, 1978 (47) registrierte relativ regelmäßig eine Aktivierung des EEGs nach dem Auftreten großer Körperbewegungen (Bewegungsklasse "3"). Da die analysierten Zeitstrecken der beiden letztgenannten Autoren im Minutenbereich liegen, lassen ihre Ergebnisse keine Schlußfolgerungen über eine mögliche Funktion der Motorik hinsichtlich Induktion und/oder Aufrechterhaltung der nächtlichen ultradianen Periodik zu.

Das in dieser Untersuchung verwendete Verfahren eines visuellen Vergleichs von Motorikprofil (Aktometerdaten) und einer computerunterstützten Analyse von Schlafdaten (*) stellen einen weiteren Ansatz zur

(*) Ein von Schulz & Haustein, 1983 (16) entwickeltes Verfahren zur computerunterstützten Analyse polygraphischer Registrierungen.

Abklärung der obengenannten Problematik dar. Aus den Abb. (23) ist ersichtlich, daß bei dargestellten Nächten von KUL und AML ein auffälliger Zusammenhang von Aktivitätsniveauänderungen im EEG und dem Auftreten von Körperbewegungen vorhanden ist. Bewegungen, welche nicht im Bereich der REM - Episoden auftreten, lassen sich häufig bei Aktivitätsniveauänderungen im EEG in Richtung aktiviertes EEG finden. Es läßt sich nur spekulieren, ob es sich um ein zufälliges gemeinsames Auftreten von EEG - Aktivitätsänderungen und motorischer Aktivität handelt, oder ob etwa die Aktivitätsniveauänderung im EEG eine Bewegung oder umgekehrt das Auftreten von motorischer Bewegung Aktivitätsänderungen im EEG induziert. Da dies jedoch nicht für alle untersuchten Nächte zutrifft, lassen auch die vorliegenden Resultate keine schlüssige Aussage zu. Möglicherweise ließe sich mit einem Aktometer mit höherer Empfindlichkeit und besserem zeitlichen Auflösungsvermögen, diese Fragestellung eher beantworten.

5.2.3.

Periodik im Motilitätsverlauf

Die in dieser Studie erstellten Bewegungszyklen liegen bei AML und KUL im ultradianen (*) Frequenzbereich mit vier bis fünf periodisch verlaufenden Aktivitätsmaxima

(*) Als ultradian werden Rhythmen bezeichnet, die mit einer höheren Frequenz als eine Periode pro Tag auftreten (Halberg, 1967) (15).

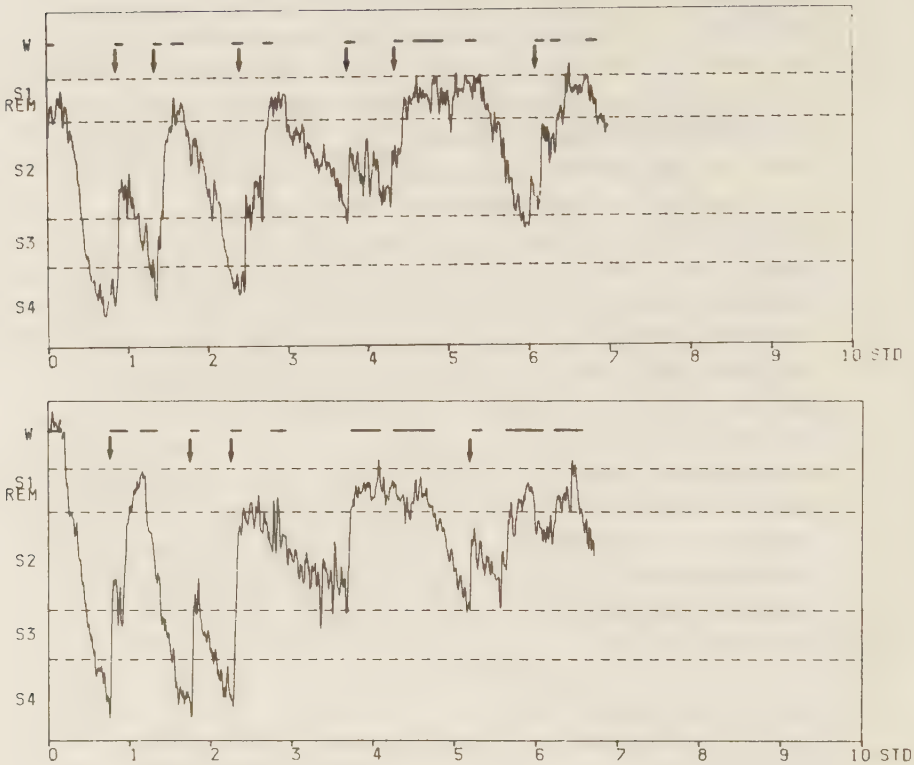


Abb. (23)
Zwei vom Computer berechnete automatische Analysen polygraphischer Daten. Die am Oberrand des Polygraphie - Verlaufs dargestellten unterbrochenen Linien stellen durch den Aktographen registrierte Bewegungen dar. Die Pfeile signalisieren eine Aktivierung des EEGs mit gleichzeitigem Auftreten von Körpermotorik. Bewegungen während der REM - Episoden sind nicht besonders gekennzeichnet. Obere Abb.: Nacht 22 von KUL. Untere Abb.: Nacht 7 von AML1.

pro Nacht (siehe Bild 9, 14a und 15a). Damit haben sie eine mit der ermittelten REM - Periodik vergleichbare Zyklusdauer. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit dem zuerst von Johnson, 1929 (18) beobachteten zyklischen Motilitätsverlauf während des Schlafs. Mit Hilfe der binären Autokorrelation wurden diese Ergebnisse genauer evaluiert (Schulz & Dirlich, 1973) (38), wobei sich zeigte, daß diese ultradiane Aktivitätskomponente eine Periodenlänge aufweist, die derjenigen des REM - Zyklus entspricht.
Bei DHL und KEL ist ein Motilitätszyklus in dieser ausgeprägten Form nicht nachweisbar.

5.2.4.

Motilitätsverlauf im Bereich der REM - Episoden

Bei Summation der Bewegungsdaten über alle Nächte zeigt sich, daß ca. 20 Minuten vor Beginn einer REM - Episode die motorische Aktivität zunimmt, während der REM - Episode ihren Maximalwert erreicht, um dann nach Beendigung der REM - Episode innerhalb eines Zeitraums von ca. 15 bis 20 Minuten auf das Ausgangsniveau zurückzufallen.

Diese Verlaufsform entspricht Untersuchungsergebnissen von Wilde-Frenz, 1978 (47). Muzet, 1972 (29), Aaronsoon, 1982 (1) und Kayed, 1979 (20) ermittelten einen mit der vorliegenden Studie übereinstimmenden Motili-

tätsverlauf vor, bzw. nach Beendigung von REM - Episoden, wobei Muzet keine Angaben über die Bewegungsrate innerhalb der REM - Episoden macht. Kayed und Aaronson beschreiben einen Motilitätsabfall innerhalb der REM - Episoden, während Sassin und Johnson, 1968 (36), Naitoh et al, 1973 (31) und Wilde-Frenz & Schulz, 1983 (46) für Stadium REM die höchste Motilitätsrate angeben.
Zusätzlich ergab sich bei der Einzelbetrachtung der REM - Episoden, daß die erste und zweite REM - Episode eine geringere Bewegungsdichte aufweisen als die darauffolgenden. Daraus ergibt sich, daß die dritte und vierte REM - Episode mit Hilfe der Bewegungsmessung besser darstellbar ist, als die erste oder zweite. Ein weiterer Grund zur besseren Erfassung der späteren Episoden liegt in der unterschiedlichen Episodenlänge. Die zeitlich zuerst auftretenden REM - Episoden sind meist erheblich kürzer als die späteren:

Episodenlänge im Mittel:
1. REM - Episode: 16,1 ± 10,2 min.
2. REM - Episode: 19,4 ± 11,5 min.
3. REM - Episode: 28,1 ± 10,1 min.
4. REM - Episode: 26,3 ± 12,2 min.

Damit sind sie, bedingt durch die Konstruktionseigenschaft des Aktographen mit einem 7,5 - Minuten - Intervall auch weniger gut darstellbar.

5.2.5.

Intraindividuelle Stabilität im Bewegungsverhalten

In der Literatur wird häufig die intraindividuelle Stabilität des nächtlichen Bewegungsverhaltens hervorgehoben (Moses 1972 (27), Muzet et Michel 1977 (30). In einer neueren Arbeit von Wilde-Frenz & Schulz 1983 (46) wird ebenfalls die intraindividuelle Stabilität in der nächtlichen Bewegungsmenge hervorgehoben. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen vermuten, daß auch das Verteilungsmuster der Bewegungen ein persönliches Charakteristikum eines Schläfers ist (auch Johnson, 1931) (19). So bietet DHL unter zwei verschiedenen Versuchsbedingungen (variabler, bzw. vorgegebener "Licht Aus" - Zeitpunkt) in beiden Abläufen gleichermaßen das Abbild eines labilen Bewegungsmusters mit nicht ausgeprägtem Anstieg der Motorik vor REM und relativ niedrigen Werten innerhalb des REM - Verlaufs (siehe Abb. 13 und 14). Es zeigt sich ein Bewegungsverlauf, der sich beide Male deutlich von dem anderer Versuchspersonen unterscheidet. AML wiederum zeigt unter beiden Versuchsbedingungen ein sehr ähnliches motorisches Verhalten, diesmal dagegen mit sehr ausgeprägten Bewegungscharakteristika, welche sich besonders im Anstieg vor, bzw. im Abfall nach REM - Episoden deutlich ähneln (siehe Abb. (11 und 12)).

5.3.

Einschlaflatenz

Hinweise in der Literatur (Kripke et al, 1978) (23) ließen vermuten, daß die Einschlaflatenz mit Hilfe der Aktographie bestimmbar sei. In ihrer Studie lagen bei vier von fünf Versuchspersonen die Ungenauigkeit zur Festsetzung des Einschlafzeitpunktes unter zwei Minuten. Bei einer Versuchsperson registrierten sie bei einer Einschlaflatenz von 46 Minuten Dauer eine Bewegungslatenz von 61 Minuten. In der vorliegenden Untersuchung sind die Ergebnisse aus technischen Gründen weniger eindeutig. Der hier eingesetzte Aktograph kann wegen des festintegrierten Zeitfensters unterhalb einer Latenz von 7,5 Minuten nicht differenzieren. Unter Berücksichtigung dieser Problematik lag bei drei von sechs Versuchsverläufen eine signifikant positive Korrelation zwischen polygraphisch definierter Einschlaflatenz und aktographisch definiertem Einschlafzeitpunkt vor. Gründe für dieses Ergebnis könnten bei den durch die Versuchsbedingungen festgesetzten unterschiedlichen Einschlafsituationen liegen (festgesetzter, bzw. selbstgewählter "Licht aus" - Zeitpunkt). Alle signifikant positiven Korrelationsergebnisse wurden unter Einschlafbedingungen mit festgesetzter "Licht aus" - Zeit erzielt. Andererseits konnte bei AML unter dieser Einschlafbedingung keine Signifikanz bei der Übereinstimmung beider Parameter (Polygraphie bzw. Aktographie) gesehen werden.

5.4.

Der Aktometer

Körperbewegungen lassen sich mit Hilfe eines ambulanten Bewegungsmessers leicht und ohne erhebliche Belastung für den Träger erfassen. Geringe Größe und niedrige Kosten wiegen einige der konstruktionsbedingten Nachteile dieses Gerätes auf.

Ein auch in der Literatur immer wieder auftauchender Hinweis, ist die Frage nach der Art der Bewegung, welche der Aktograph mißt. Hier stellt sich eine erste gravierende Anwendungseingrenzung, da ein am Arm zu tragender Aktograph nur quantitative Messungen von Körperbewegungen zuläßt. Untersuchungen, wie sie z. B. Alihanka, 1978 (2) mit der Entwicklung eines "sensitive bed" zulassen, also Fragen zur Qualität, zu den zusammensetzenden Komponenten einer Bewegung, sind nicht möglich. Weiterhin lassen aktographische Messungen keine Aussage über die Größe einer Einzelbewegung zu. Da alle verschieden konstruierten Bewegungsmesser bisher aufgrund der relativ geringen Speicherkapazität über einen gewissen Zeitraum, die erfaßten Bewegungen addieren, ist es nicht möglich, zwischen z. B. einer großen oder einigen kleinen Bewegungen zu differenzieren.

Dieses Konstruktionsmerkmal erschwert erheblich die Zuordnung zu verschiedenen Aktivitätszuständen im EEG, denn Hinweise aus der Literatur zeigen, daß große

Bewegungen oft mit einer Aktivitätsniveauänderung gekoppelt sind (Otto et al, 1970 (32), Wilde-Frenz, 1978 (47)), kleine Bewegungen lassen sich besonders während REM - Episoden registrieren. Somit würde die qualitative Unterscheidung von Bewegungen die innere Struktur des Schlafs eher bestimmbar machen.

Der in der vorliegenden Studie getestete Aktograph zeigte besonders in dem fest integrierten 7,5 - Minuten - Fenster eine weitere Konstruktionsschwäche. Insbesondere bei der Schlaflatenzuntersuchung und der Schlafstruktur - Analyse zeigte sich das wiedergegebene Bewegungsmuster oft als zu grob, um präzise Zuordnung zu ermöglichen. Somit wäre eine Weiterentwicklung dieses Gerätes zu fordern, welche bei vergrößerter Speicherkapazität eine Möglichkeit bietet, die Eingangsempfindlichkeit zu variieren und das Zeitfenster auf wenigstens eine Minute zu verkleinern.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung (insbesondere wegen der guten Ergebnisse in der Schlaf - Wach - Differenzierung) wurde nun ein industriell gefertigtes Gerät entwickelt. Hierbei sind einige Anregungen der vorliegenden Arbeit aufgenommen worden: die Speicherkapazität wurde erweitert und das Zeitfenster auf 2 Minuten verringert. Auch die Möglichkeit, die Eingangsempfindlichkeit zu variieren, wurde verbessert. Die Ausmaße des Gehäuses wurden verkleinert. Dieses Gerät wird seit ca. einem halben Jahr bei Schlaf - Wach - Untersuchungen angewandt. Weitere Untersuchungen werden zeigen, inwieweit der weiterentwickelte Aktograph auch bei Schlafstrukturanalysen einsetzbar ist.

5.5.1.

Anwendungsmöglichkeiten

Der Aktograph in seiner jetzigen Konstruktionsweise ist nicht geeignet, die REM - NREM - Periodik und damit die innere Struktur des Schlafs, zu erfassen. Denn obschon gezeigt werden konnte, daß innerhalb der REM - Episoden in der Summation über alle Nächte erhöhte motorische Aktivität zu finden ist, läßt dies einen Rückschluß auf Einzelnächte nicht zu.

Das Hauptanwendungsgebiet eines ambulanten Bewegungsmessers wird in der Objektivierung von Aktivitätsstadien liegen. Die Bunkeruntersuchungen haben gezeigt, daß mit Hilfe der Bewegungsmessung gut zwischen den Aktivitätsniveaus Wach und Schlaf unterschieden werden kann. Die befriedigenden Ergebnisse unter den in dieser Studie erschwerten Versuchsbedingungen lassen eine Anwendungsmöglichkeit unter Normalbedingung als sinnvoll erscheinen.

Auch bei Kindern und alten Menschen, welche schwer zu motivieren sind, sich unter Laborbedingungen untersuchen zu lassen, bietet sich diese Methode zur Aktivitätsmessung an (Borbély, 1981) (7). Weiterhin kann sich die Wirkung von Pharmaka in ihrer erregenden und dämpfenden Form mit Hilfe der Motorikmessung gut verifizieren lassen (Borbély, 1981) (7).

Besonders bei bestimmten Patientengruppen eröffnen sich sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten. Schon seit einiger Zeit zum Beispiel werden Untersuchungen bei endogen depressiven Patienten vorgenommen (Wehr et al, 1979) (45). Über Zeiträume von einem Jahr und länger ließ sich auf diese Weise kontinuierlich der schubweise Verlauf von aufeinanderfolgenden manischen und depressiven Phasen nachweisen, da diese Krankheitszustände auch mit einem jeweils typischen Aktivitätsniveau einhergehen. Ein weiterer Einsatz des Aktographen bietet sich bei Patienten an, die unter dem Krankheitsbild der Narkolepsie leiden. Da diese Erkrankung in ausgeprägter Form durch Vigilanzschwankungen und damit verbundenen Phasen unterschiedlicher Bewegungsintensität gekennzeichnet ist, erscheint hier die kontinuierliche Aufzeichnung der Motorik als ein geeignetes Mittel, Therapieverläufe objektivieren zu können. Mit der oben beschriebenen Weiterentwicklung des in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten Gerätes sind in der Zwischenzeit Langzeitaufzeichnungen der motorischen Aktivität bei Narkolepsie - Patienten vorgenommen worden. Es zeigte sich, daß bei geringen Ausfallzeiten und vergrößerter Speicherkapazität dieses Gerät gut geeignet ist, die die Erkrankung kennzeichnenden Vigilanzschwankungen zu erfassen und damit ausserhalb des Schlaflabors Langzeitverläufe der Erkrankung und Therapieauswirkungen objektiv darzustellen.

6.

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines ambulanten Bewegungsmessers sollte gezeigt werden, ob

a) Schlaf - Wach - Phasen unter Isolationsbedingungen im Bunker unterschieden werden können.

b) die innere Struktur des Schlafs (REM - NREM - Periodik) erfaßt werden kann und

c) die Einschlaflatenz geschätzt werden kann.

Der Schlaf von vier gesunden Versuchspersonen (zwei männlich, zwei weiblich, Alter 26 - 29 Jahre) wurde für insgesamt 75 Nächte im Labor registriert. Ebenfalls wurde von vier Versuchspersonen (männlich, Alter 19 - 38 Jahre) für jeweils 72, bzw. 55 Stunden Ruhe - Aktivitäts - Phasen im Bunker (d. h. ohne externe Zeitgeber unter Isolationsbedingungen) untersucht.

Mit Hilfe des ambulanten Bewegungsmessers können Schlaf - Wach - Phasen mit einer Übereinstimmung von im Mittel 85 % (75 % - 89.6 %) zwischen Polygraphie- und Motorikparametern unterschieden werden.

Weiterhin zeigte sich bei der Summation über alle Nächte pro Versuchsperson eine enge Beziehung von REM - Periodik und Bewegungsverlauf. Bei allen Probanden war

die Bewegungsintensität innerhalb der REM - Episoden durchgehend deutlich erhöht.

Diese Koinzidenz von REM - Periodik und Bewegungsverhalten ließ sich bei zwei Versuchspersonen auch auf Einzelnächte übertragen, so daß mit Hilfe des Aktographen bei diesen Probanden in der Mehrzahl der Nächte (KUL: 70 %; AML1: 88 %; AML2: 100 %) die Schlafstruktur (REM - NREM - Periodik) dargestellt werden konnte. Zwei weitere Versuchspersonen zeigten diesen Zusammenhang in Einzelnächten weniger häufig (KEL: 46 %; DHL1: 44 %; DHL2: 40 %).

Bei drei Versuchsreihen (KUL, KEL, DHL1) ließ sich eine signifikante Übereinstimmung zwischen polygraphisch und aktographisch definiertem Einschlafzeitpunkt erkennen. Drei weitere Versuchsreihen zeigten keine signifikanten Übereinstimmungsergebnisse.

Die Behinderung des Probanden durch das Tragen des Aktometers ist relativ gering - bedingt durch geringe Ausmaße, niedriges Gewicht und internen Speicher -, Vorteile liegen in der Möglichkeit, Untersuchungen außerhalb des Labors kontinuierlich über mehrere Tage durchzuführen.

Literaturangaben

1. AARONSON, S. T., RASHED, S., BIBER, M. P., & HOBSON, J. A. Brain state and Body position. Arch. gen. Psychiat., 39, 330-335, (1982).

2. ALIHANKA, J. & VAAHTORANTA, K. A static charge sensitive bed. A new method for recording body movements during sleep. Electroencephal. Clin. Neurophysiol., 46, 731-734, (1979).

3. ALTSHULER, K. Z., & BREBBIA, D. R. Body movement artifact as a contaminant in psychophysiological studies of sleep. Psychophysiology, 3, 327-335, (1967).

4. ASERINSKY, E. & KLEITMAN, N. Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. Science 118, 273-274, (1953).

5. ASERINSKY, E. & KLEITMAN, N. A motility cycle in sleeping infants as manifested by ocular and gross body activity. Journal of Applied Physiology 8, 11-18, (1955).

6. BERGER, H. Über das Elektroencephalogramm des Menschen. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten 87, 527-570, (1929).

7. BORBÉLY, A. A., NEUHAUS, H. U., MATTMANN, P. & WASER, P. Langzeitregistrierung der Bewegungsaktivität: Anwendung in Forschung und Klinik. Schweiz med. Wschr. 111, 730-735, (1981).

8. CAMPBELL, SCOTT S., Duration and Placement of Sleep in a ´Disatrained´ Environment, Psychophysiology Vol. 21, No. 1, (1984).

9. COLBURN, T. R., SMITH, B. M., GUARINI, J. J. & SIMMONS, An ambulatory activity monitor with solid state memory Biomedical Sciences Instrumantation, ISA BM 76322, 117-122, (1976).

10. COLEMAN, R. M., POLLAK, C. P., WEITZMAN, E. D., Periodic Movements in Sleep (nocturnal myoclonus): Relation to Sleep Disorders. Ann. Neurol. 8, 416-421, (1980).

11. DEMENT, W., & KLEITMAN, N. Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. Electroencephal.. Clin. Neurophysiol. 9, 673-690, (1957).

12. FECHNER, G. T. Elemente d. Psychophysik, 3. Aufl., Bd. 2, Leipzig, Breitkopf + Hartel, (1860).

13. FODOR, C. & LEGEWIE, H. Die Erfassung motorischer Aktivität bei Tier und Mensch mit einem universell anwendbaren Aktographen. 5. Tagung experimentell arbeitender Psychologen München (unveröffentlichtes Manuskript), (1966).

14. GARDNER, R. & GROSSMAN, W. J. Normal motor patterns in sleep in man. In E. D. Weitzman (Ed.), Advances in sleep research Vol. 2, New York: Spectrum, 67-107, (1976).

15. HALBERG, F. Physiologic considerations underlying rhythmometry, with special reference to emotional illness. In: AJURIAGUERRA, J., (Ed.) Cycles Biologiques et Psychiatrie. Symposium Bel-Air II, Geneve, (1967).

16. HAUSTEIN, W., SCHULZ, H., Brain waves, muscle tone and time: a three-dimensional model of sleep. Sleep Res. 12: 347, (1983).

17. HESS, W. R. Biological Order and Brain Organisation. Hrsg. von Akert, K., Selected Works of W. R. HESS, Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1981.

18. JOHNSON, H. M. Rhythms and patterns of nocturnal motility. Proceedings of the Ninth International Congress of Psychology, 238-239, (1929).

19. JOHNSON, H. M. Reading 23, Sleep. In VALENTINE, W. L. (Ed.), Reading in Experimental Psychology, Harper & Brothers, New York, (1931).

20. KAYED, K., HESLA, P. E., KOSJO, O., The actioculographic monitor of sleep, Sleep 2, 253-260, (1979).

21. KLEITMAN, N. Sleep and wakefulness. Chicago: University of Chicago Press, (1963).

22. KLEITMAN, N., COOPERMAN, N. R. & MULLIN, F. J. Motility and body temperature during sleep. American Journal of Physiology 105, 574-584, (1933).

23. KRIPKE, D. F., MULLANEY, D. J., MESSIN, S. & WYBORNEY, V. G. Wrist actigraphic measures of sleep and rhythms. Electroencephal. and Clinic. Neurophysiol. 44, 674-676, (1978).

24. KUPFER, D. J., DETRE, T. P., FOSTER, TUCKER, DELGADO, The application of DELGADO´s telemetric mobility recorder for human studies. Behav. Biol. 7, 558-590, (1972).

25. MITTERMAIER, J. Ultradiane Biorhytmik in der Körpermotorik. Universität Freiburg (unveröffentlichte Diplomarbeit), (1975).

26. MONROE, L. J. Psychological and physiological differences between good and poor sleepers. Journal of Abnormal Psychophysiology 72, 255-264, (1972).

27. MOSES, J., LUBIN, A., NAITOH, P. & JOHNSON, L. C. Reliability of sleep measures. Psychophysiology 9, 78-82, (1972).

28. MULLIN, F. J. & COOPERMAN, N. R. The effect of alcohol and coffein on motility and body temperature during sleep. Amer. Journ. of Physiol. 106, 478-487, (1933).

29. MUZET, A., NAITOH, P., TOWNSEND, R. E. & JOHNSON, L. C. Body movements during sleep as a predictor of stage change. Psychonomic Science 29, 7-10, (1972).

30. MUZET, A. & MICHEL, C. Heart rate preceding short activation phases in sleep. Waking and Sleeping 1, 175-179, (1977).

31. NAITOH, P., MUZET, A., JOHNSON, L. C. & MOSES, J. Body movements during sleep after sleep loss. Psychophysiology 10, 363-368, (1973).

32. OTTO, E., KRAMER, H. & BRÄUER, D. Korrelation zwischen Körperlagewechsel und skalierter EEG - Aktivität bei schlafenden Menschen. Ergebnisse der experimentellen Medizin 3, 224-230, (1970).

33. PARMELEE, A. H., SCHULZ, H. R. & DISBROW, M. A. Sleep patterns of the new born. Jounal of Pediatrics 58, 241-250, (1961).

34. RECHTSCHAFFEN, A. & KALES, A. A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Bethseda, Maryland: National Institutes of Health Publication, (1968).

35. ROFFWARG, H. P., MUZIO, J. N. & DEMENT, W. C. Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle. Science 152, 604-619, (1966).

36. SASSIN, J. F. & JOHNSON, L. C. Body motilty during sleep and its relation to K-Komplex. Experimental Neurology 22, 133-144, (1968).

37. SCHULZ, H. Methoden der Schlafforschung. Internist 25, 523-530, (1984).

38. SCHULZ, H. & DIRLICH, G. Measurement of rhythmic components of body movement activity during sleep. Sleep Research 2, 191 (abstract). Paper presented at the 13th annual meeting of the APSS, San Diego, (1973).

39. STERMAN, M. B. The basic rest-activity cycle and sleep: development considerations in man and cats. In: CLEMENTE, C. D., PURPURA, D. P. & MAYER, F. E. (Eds.) Sleep and the Maturing Nervous System, New York: Academic Press, (1972).

40. STERMAN, M. B., HOPPENBROUWERS. The development of sleep - waking - and rest - activity patterns from fetus to adult in man. Brain Development and Behavior, Academic Press, New York, 203-229, (1971).

41. STERN, E., PARMELEE, A. H., AKIYAMA, Y., SCHULTZ, M. A. & WENNER, W. H. Sleep cycle characteristics in infants. Pediatics 43, 65-70, (1969).

42. SZYMANSKI, J. S. Aktivität und Ruhe bei den Menschen. Zeitschrift für angewandte Psychologie und psychologische Sammelforschung 20, 192-222, (1922).

43. THOMAN, B. E., TYNAN, W. B. Sleep states and wakefulness in human infants: profiles from motility monitoring. Physiology and Behavior Vol. 23, 519-525, Pergamon Press and Brain Research, Publ. (1979).

44. WEBSTER, J. B., KRIPKE, D. F., MESSIN S., MULLANEY D. J., WYBORNEY G. An activity-based sleep monitor system for ambulatory use. Sleep 5, 389-399, (1982).

45. WEHR, T. A., WIRZ-JUSTICE, A., GOODWIN, F. K., DUNCAN, W., GILLIN, J. C. Phase advance of the sleep-wake cycle as an antidepressant. Science 206, 710, (1979).

46. WILDE-FRENZ, J. & SCHULZ, H. Rate and Distribution of Body Movements during Sleep in Humans. Perceptual and Motor Skills 56, 275-283, (1983).

47. WILDE-FRENZ, J. Untersuchung zum Bewegungsverhalten des Menschen im Schlaf. Unveröffentlichte Diplomarbeit, München, (1978).

ANHANG

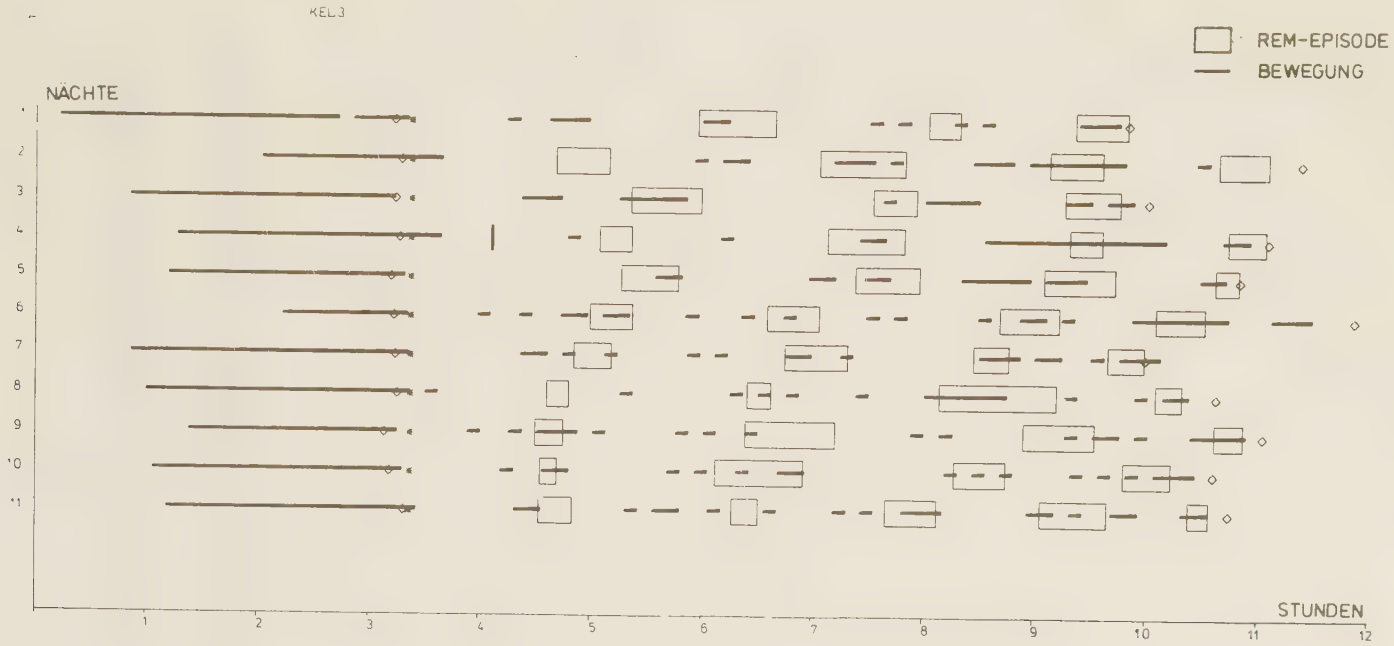


Abb. (1a)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 11 Nächte einer Versuchsperson (KEL), auf den Beginn von Stadium S2 * synchronisiert.

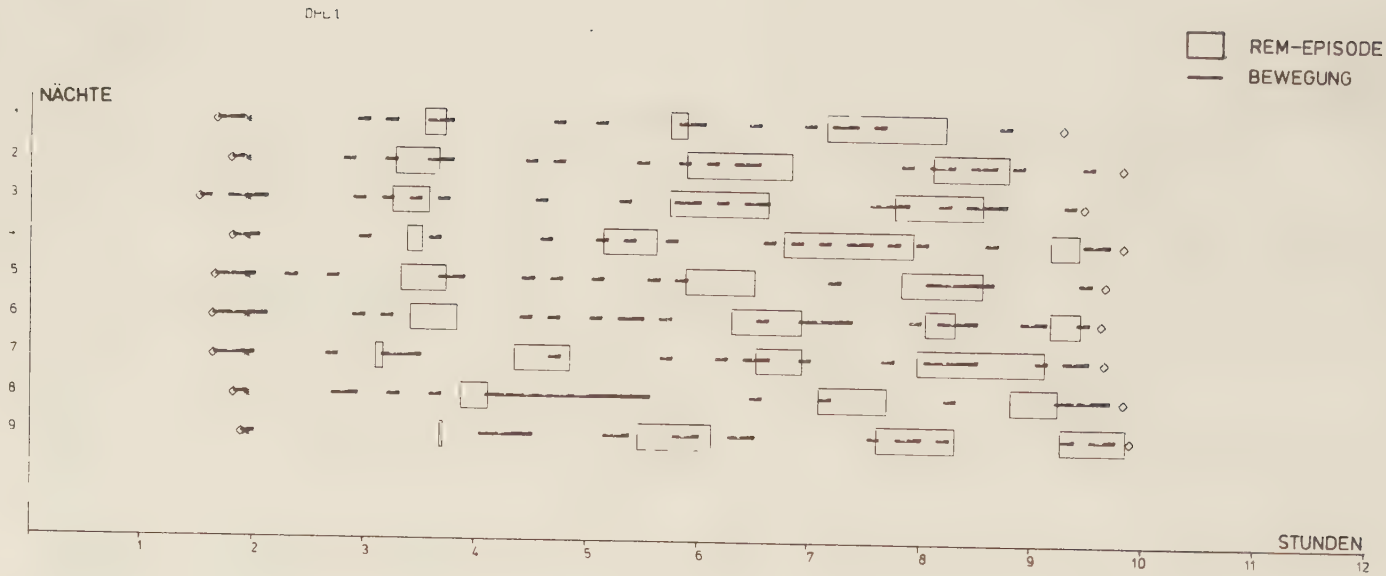


Abb. (2a)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 9 Nächte einer Versuchsperson (DHL1), auf den Beginn von Stadium S2 * synchronisiert.

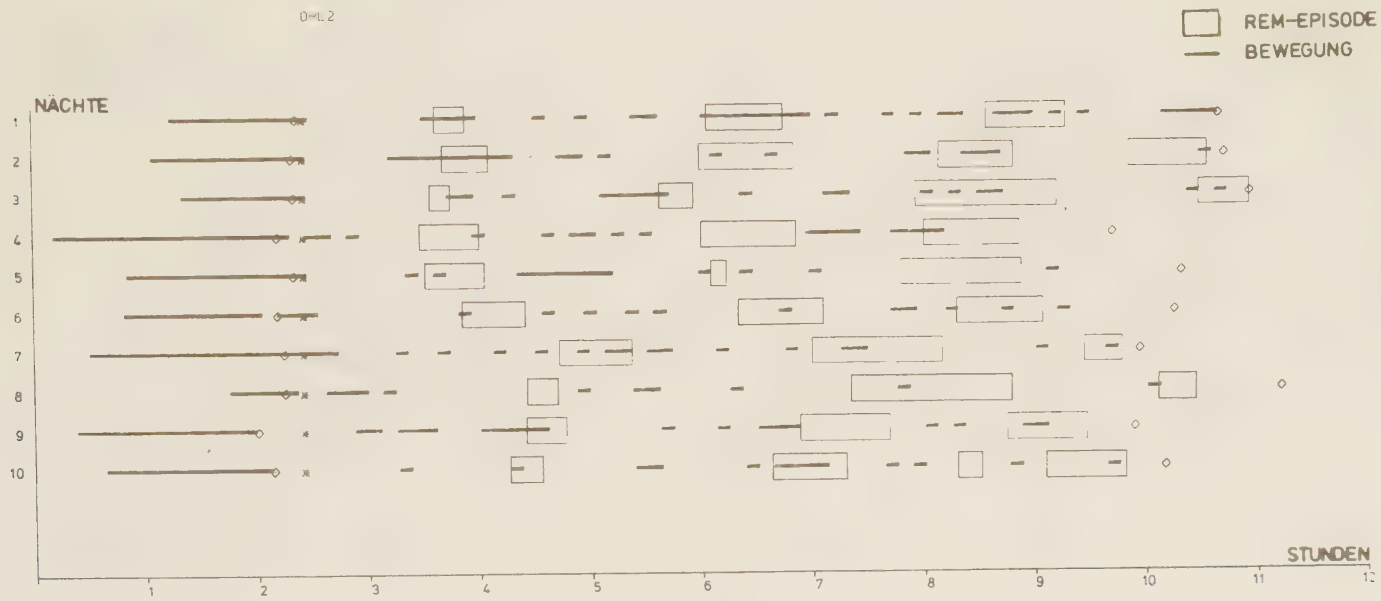


Abb. (3a)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 10 Nächte einer Versuchsperson (DHL2), auf den Beginn von Stadium S2 * synchronisiert.

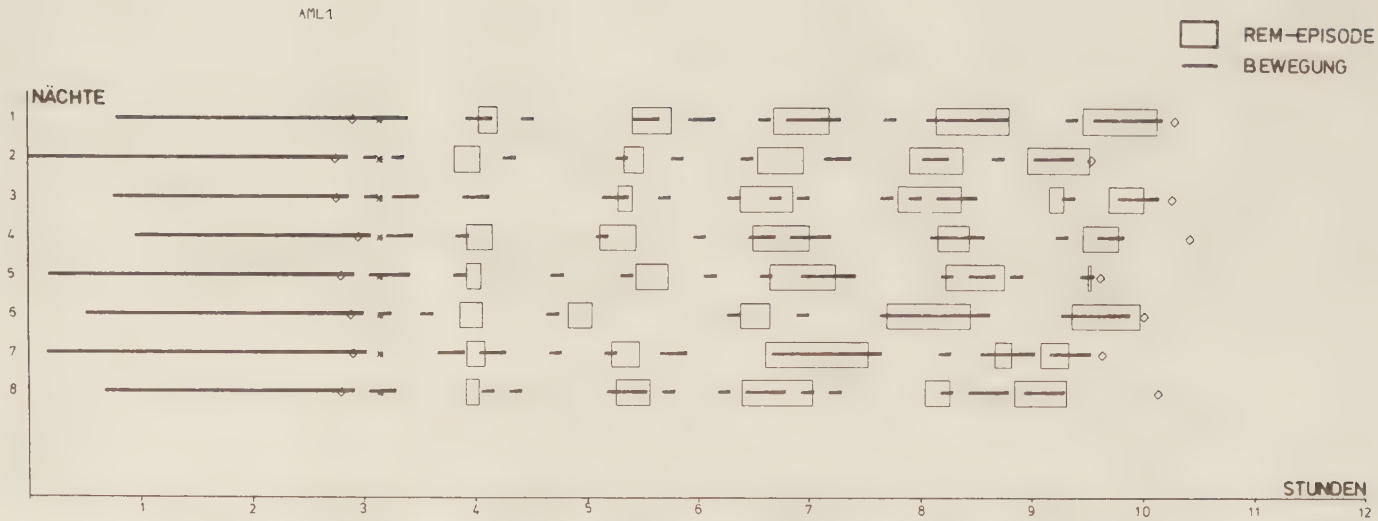


Abb. (4a)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 8 Nächte einer Versuchsperson (AML1), auf den Beginn von Stadium S2 * synchronisiert.

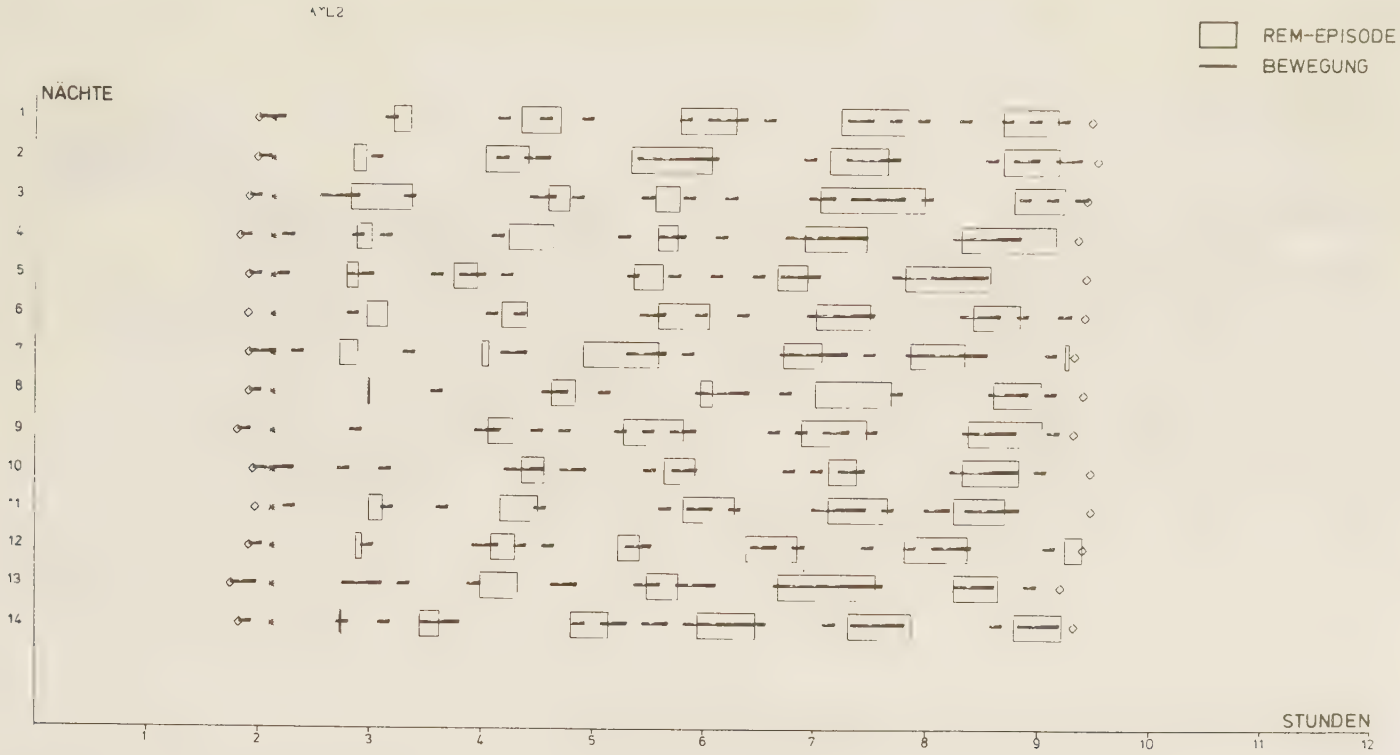


Abb. (5a)

Beziehung zwischen motorischer Aktivität (waagrechte Linien) und REM - Episoden (Rechtecke). N = 14 Nächte einer Versuchsperson (AML2), auf den Beginn von Stadium S2 * synchronisiert.

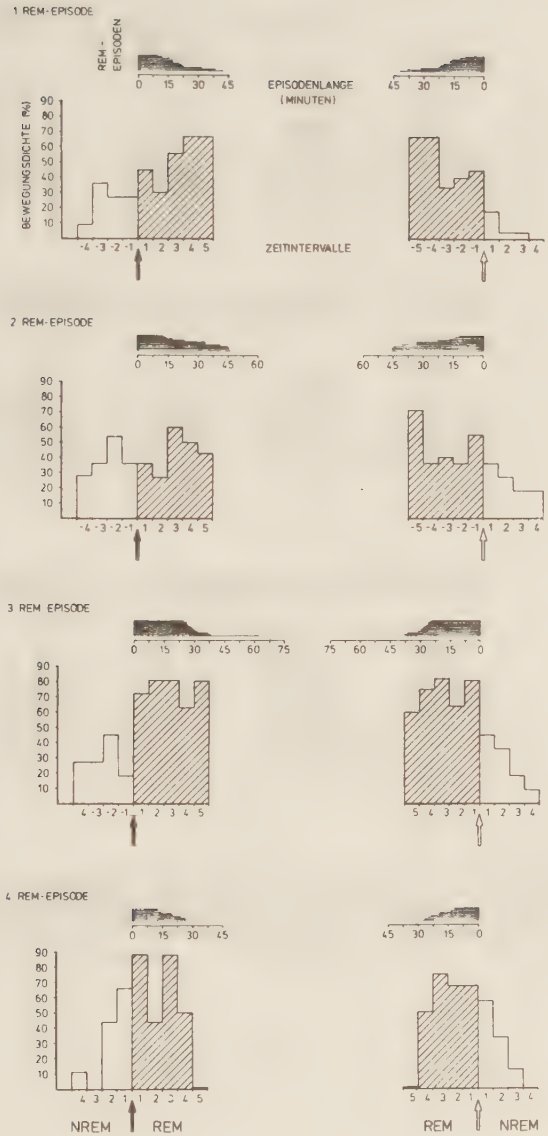


Abb. (6a)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden (vergl. Abb.). In dieser Abb. ist der Bewegunsverlauf für jede REM - Episode getrennt dargestellt. Die Summation der Bewegungsdaten erfolgte über n = 11 Nächte in Intervallschritten (7,5 Minuten). KEL

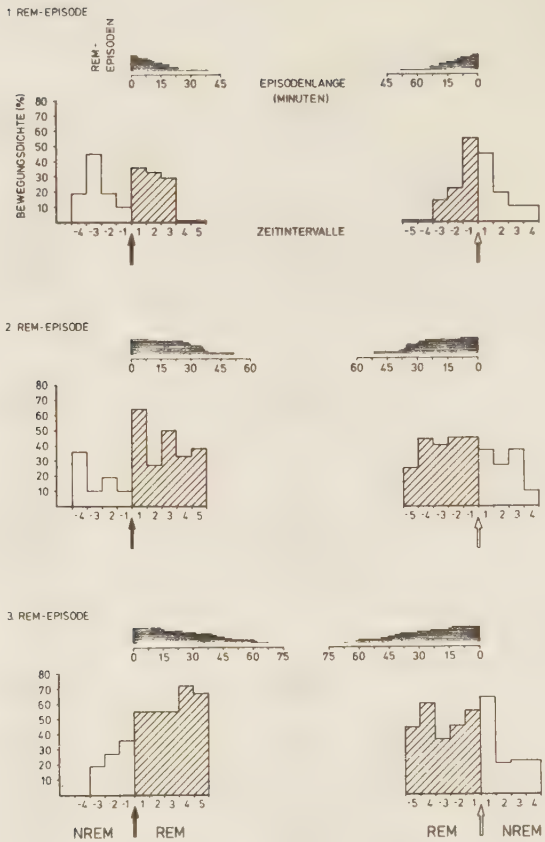


Abb. (7a)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden (vergl. Abb.). In dieser Abb. ist der Bewegunsverlauf für jede REM - Episode getrennt dargestellt. Die Summation der Bewegungsdaten erfolgte über n = 9 Nächte in Intervallschritten (7,5 Minuten). DHL,

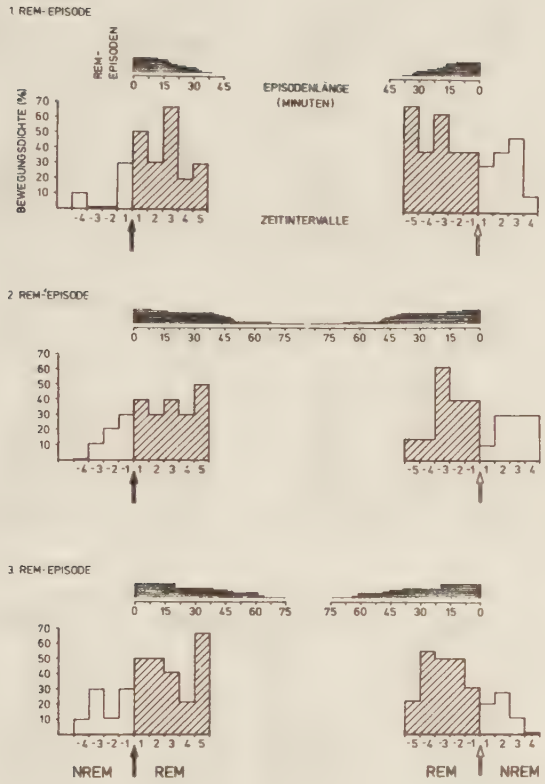


Abb. (8a)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden (vergl. Abb.). In dieser Abb. ist der Bewegunsverlauf für jede REM - Episode getrennt dargestellt. Die Summation der Bewegungsdaten erfolgte über n = 10 Nächte in Intervallschritten (7,5 Minuten). DHL2

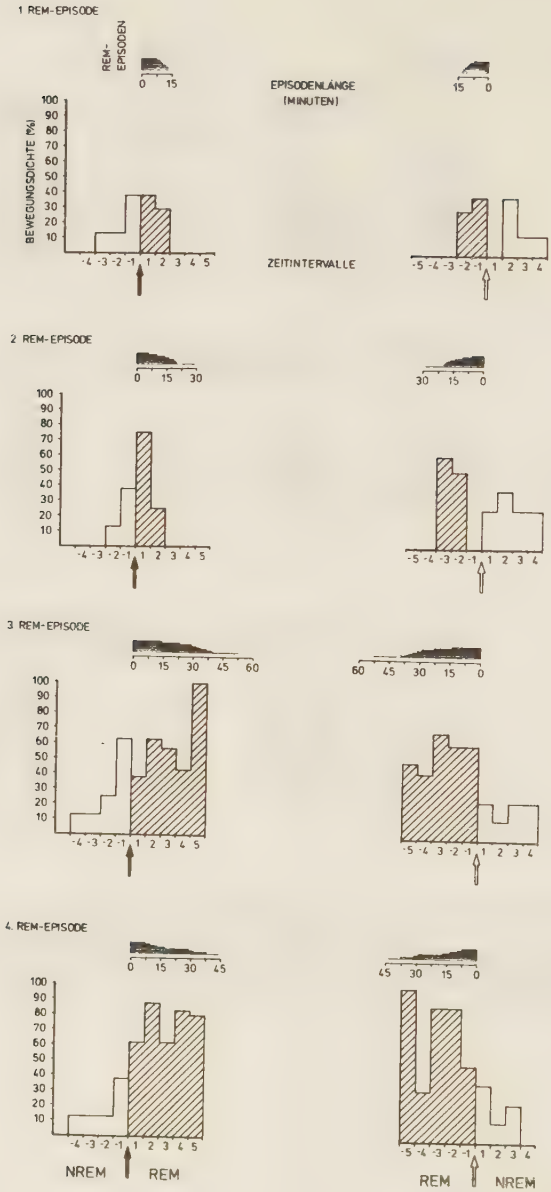


Abb. (9a)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden (vergl. Abb.). In dieser Abb. ist der Bewegunsverlauf für jede REM - Episode getrennt dargestellt. Die Summation der Bewegungsdaten erfolgte über n = 8 Nächte in Intervallschritten (7,5 Minuten). AML 1

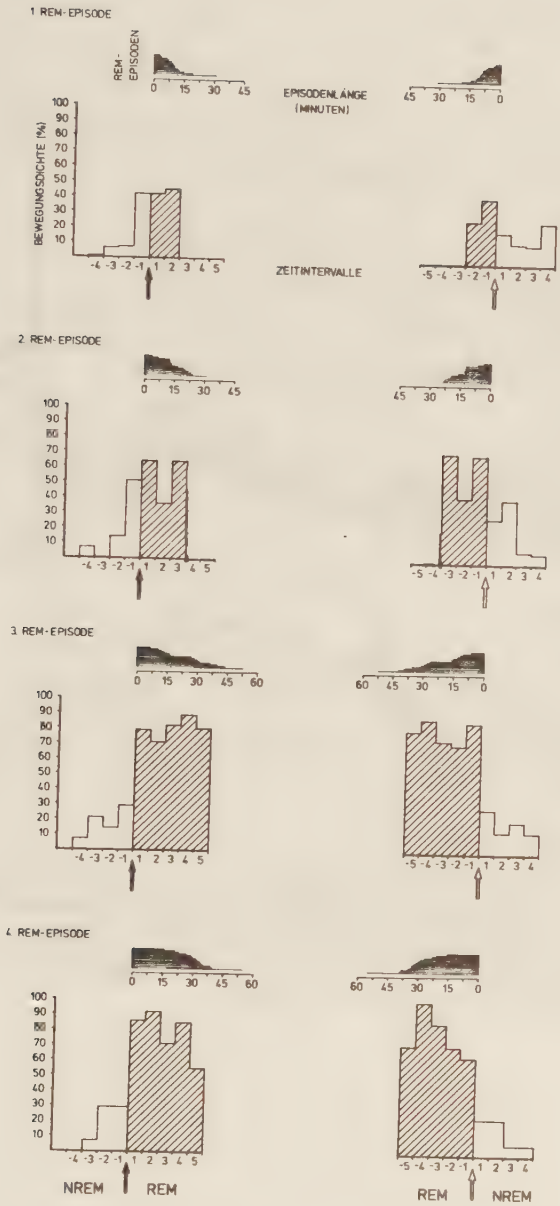


Abb. (10a)

Bewegungsintensität vor, innerhalb und nach REM - Episoden (vergl. Abb.). In dieser Abb. ist der Bewegunsverlauf für jede REM - Episode getrennt dargestellt. Die Summation der Bewegungsdaten erfolgte über n = 14 Nächte in Intervallschritten (7,5 Minuten). AML2

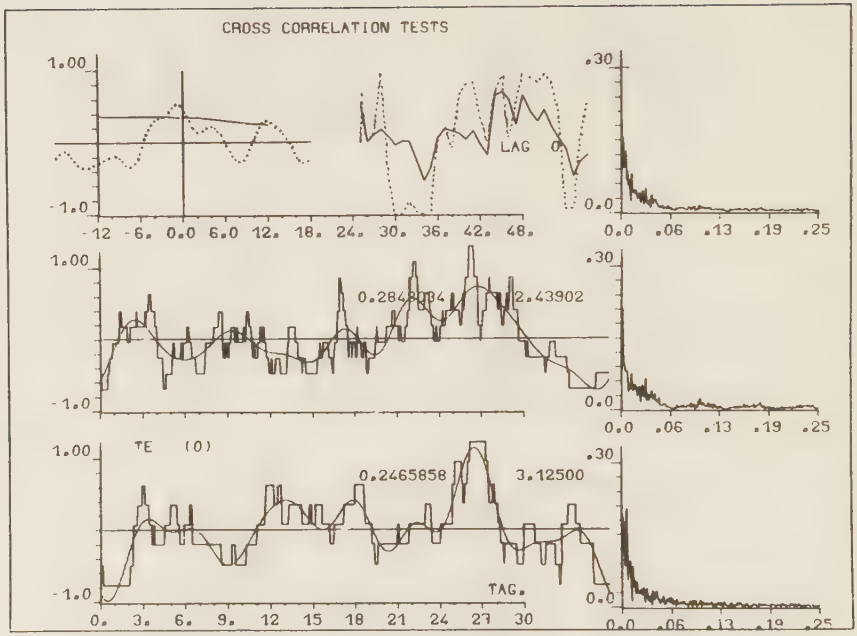


Abb. (11a)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 11 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (KEL) abgebildet.
Mittlere Abb.: motorische Aktivität, untere Abb.: REM - Episoden, in der oberen Abb. ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet.

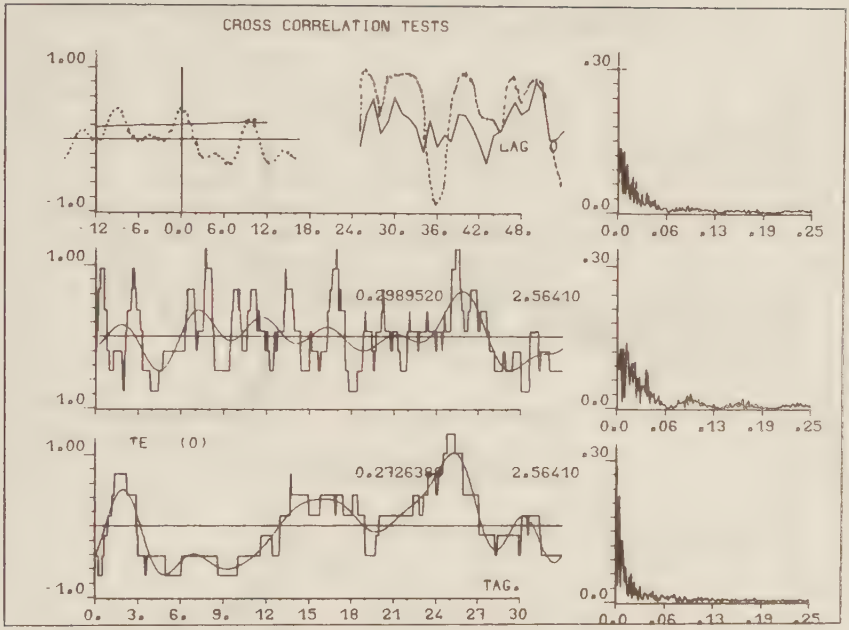


Abb. (12a)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 9 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (DHL1) abgebildet.
Mittlere Abb.: motorische Aktivität, untere Abb.: REM - Episoden, in der oberen Abb. ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet.

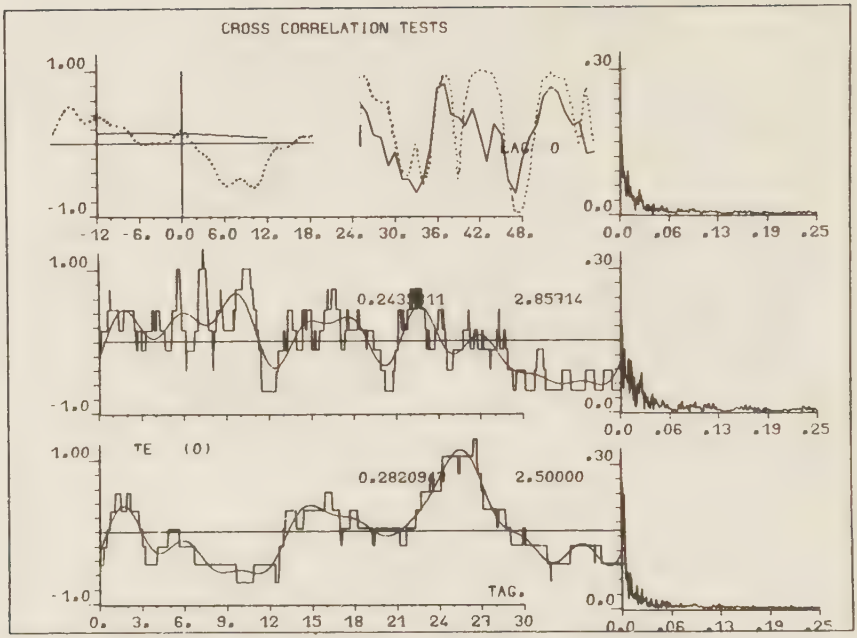


Abb. (13a)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 10 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (DHL2) abgebildet.
Mittlere Abb.: motorische Aktivität, untere Abb.: REM - Episoden, in der oberen Abb. ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet.

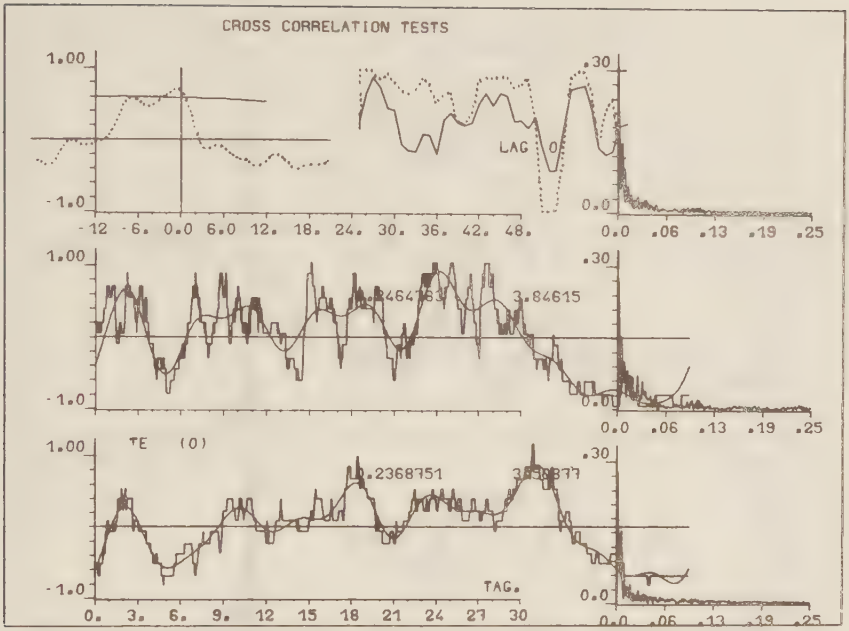


Abb. (14a)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 23 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (KUL) abgebildet.
Mittlere Abb.: motorische Aktivität, untere Abb.: REM - Episoden, in der oberen Abb. ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet.

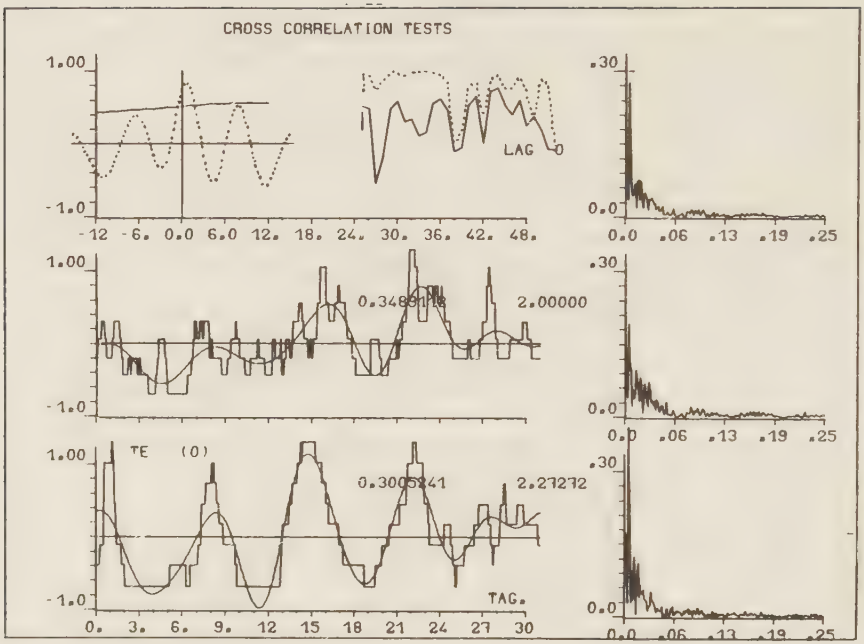


Abb. (15a)

In der mittleren und unteren Abb. sind der geglättete Kurvenverlauf (Filter: 3 Abb. rechts) von 8 aufeinanderfolgenden Nächten einer Versuchsperson (AML1) abgebildet.
Mittlere Abb.: motorische Aktivität, untere Abb.: REM - Episoden, in der oberen Abb. ist die graphische Darstellung des Kreuz - Korrelations - Tests geplottet.

KEL REM - Episoden, BM - Verteilung

REM Episode	NREM				A REM					REM				E REM	NREM			
1	.09	.36	.27	.27	.45	.3	.56	.(67)	.(67)	.(67)	.(67)	.33	.4	.45	.18	.09	.09	0
2	.28	.36	.54	.36	.36	.27	.6	.5	.43	.71	.37	.4	.36	.55	.36	.27	.18	18
3	.27	.27	.45	.18	.72	.82	.82	.63	.8	.6	.75	.82	.64	.81	.45	.36	.09	.09
4	.11	0	.44	.66	.88	.44	.88	.5	-	-	.5	.75	.67	.67	.57	.33	0	0
alle	.16	.26	.42	.35	.59	.46	.71	.56	.56	.69	.54	.58	.52	.64	.37	.26	.08	.08

Tab. (1a)

Prozentuale Verteilung der Bewegungsdichte vor REM (erste Spalte), innerhalb REM - auf den Anfang der REM - Episoden synchronisiert - (zweite Spalte), innerhalb REM - auf das Ende der REM - Episoden synchronisiert - (dritte Spalte), nach REM - Beendigung (vierte Spalte). Die jeweiligen REM - Episoden sind differenziert dargestellt.

KUL REM - Episoden, BM - Verteilung

REM Episode	NREM				E REM					REM					A NREM			
1	.30	.08	.30	.34	.43	.41	.62	.2	-	-	.4	.38	.35	.61	.30	.17	.08	.04
2	.08	.13	.30	.30	.61	.5	.41	.25	-	.5	.5	.47	.5	.48	.17	.17	.26	.04
3	.13	.13	.17	.35	.61	.52	.75	.57	.56	.78	.64	.4	.61	.61	.43	.17	.13	.08
4	.08	.04	.17	.39	.52	.65	.72	.73	.4	.6	.8	.73	.61	,57	.48	.30	.13	.04
alle	.17	.11	.25	.31	.54	.53	.64	.53	.54	.65	.64	.51	.53	.56	.4	.2	.14	.04

Tab. (2a)

AML_1

REM - Episoden, BM - Verteilung

REM Episode	A													E				
	NREM				REM					REM					NREM			
1	0	.13	.13	.38	.37	.29	-	-	-	-	-	-	.29	.37	0	.38	.13	.13
2	0	0	.13	.38	.75	.25	0	0	-	-	-	.6	.5	0	.25	.38	.25	.25
3	.13	.13	.25	.63	.38	.63	.57	.43	1	.5	.43	.7	.63	.63	.25	.13	.25	.25
4	.13	.13	.13	.38	.63	.89	.63	.83	.8	1	.43	.75	.58	.41	.38	.13	.25	0
alle	.75	.11	.23	.39	.54	.52	.45	.51	.46	.67	.43	.75	.58	.41	.2	.24	.18	.17

Tab. (3a)

AML_2 REM - Episoden, BM - Verteilung

REM Episode	A NREM				REM					E REM					NREM			
1	0	.07	.07	.43	.43	.45	–	–	–	–	–	–	.29	.43	.21	.14	.14	.29
2	.07	0	.14	.5	.64	.36	.64	.6	–	–	.5	.73	.43	.71	.29	.42	.07	.07
3	.07	.21	.14	.29	.79	.71	.82	.1	.8	.8	.88	.73	.71	.93	.29	.14	.21	.14
4	0	.07	.29	.29	.79	.93	.71	.85	.55	.72	.1	.86	.71	.64	.21	.21	.07	.07
alle	.03	.09	.16	.37	.66	.62	.69	.81	.67	.76	.81	.76	.57	.68	.25	.23	.13	.14

Tab. (4a)

DHL_1 REM - Episoden, BM - Verteilung

REM Episode	NREM				A REM					REM			E REM		NREM			
1	.19	.45	.19	.1	.36	.33	.29	(75)	.(5)	(1)	(25)	.14	.22	.54	.45	.19	.1	.1
2	.36	.1	.19	.1	.63	.27	.5	.33	.38	.25	.44	.4	.45	.45	.36	.27	.36	.1
3	0	.19	.27	.36	.54	.54	.54	.72	.67	.44	.6	.36	.45	.54	.64	.2	.22	.22
alle	.17	.24	.20	.21	.52	.39	.46	.58	.55	.42	.48	.32	.39	.52	.46	.20	.25	.14

Tab. (5a)

DHL_2 REM - Episoden, BW - Verteilung

REM Episode			NREM	A	REM								REM		E		NREM		
1	.1	0	0	.3	.5	.3	.67	.2	.3	.7	.4	.55	.4	.4	.3	.4	.5	.1
2	0	.1	.2	.3	.4	.3	.5	.43	.7	.14	.14	.62	.4	.4	.1	.3	.3	.3
3	.1	.3	.1	.3	.5	.5	.4	.22	.67	.22	.55	.5	.5	.3	.2	.27	.27	0
alle	.07	.13	.1	.3	.47	.37	.52	.29	.63	.26	.38	.56	.43	.37	.2	.33	.33	.13

Tab. (6a)

A	0,2285	0,2250	0,2251	0,2201	0,2178
	0,2140	0,2072	0,2013	0,1940	0,1881
	0,1826	0,1756	0,1672	0,1576	0,1505
	0,1451	0,1410	0,1364	0,1306	0,1262
	0,1254	0,1264	0,1318	0,1401	0,1479
	0,1530	0,1578	0,1625	0,1668	0,1693
B	0,2285	0,2305	0,2335	0,2359	0,2418
	0,2493	0,2551	0,2595	0,2694	0,2687
	0,2701	0,2697	0,2696	0,2693	0,2664
	0,2630	0,2559	0,2473	0,2379	0,2293
	0,2185	0,2066	0,1957	0,1838	0,1722
	0,1609	0,1503	0,1373	0,1248	0,1131

Tab. (γ_a) DHL_1

A	0,1442	0,1464	0,1501	0,1543	0,1561
	0,1559	0,1554	0,1546	0,1539	0,1520
	0,1493	0,1474	0,1456	0,1407	0,1390
	0,1372	0,1343	0,1314	0,1259	0,1201
	0,1142	0,1092	0,1029	0,0959	0,0912
	0,0881	0,0866	0,0839	0,0820	0,0786
B	0,1442	0,1411	0,1377	0,1316	0,1285
	0,1246	0,1189	0,1127	0,1065	0,1015
	0,0965	0,0911	0,0868	0,1084	0,0811
	0,0799	0,0807	0,0802	0,0794	0,0797
	0,0815	0,0830	0,0830	0,0825	0,0813
	0,0828	0,0843	0,0854	0,0869	0,0876

Tab. (γ_a) DHL_2

Kreuz - Korrelationstest: Berechnung der Produkt - Moment - Korrelation in Epochen - Schritten in den A: negativen Bereich und B: positiven Bereich vom Ausgangspunkt aus (erster Zahlenwert).
Zahlenwerte sind von links nach rechts zu lesen.
Der Kreuz - Korrelationstest ist durchgeführt worden mit Daten der zeitlichen Verteilung von REM - Episoden und Bewegungsdaten über alle Nächte einer Versuchsperson.

A	0,5218	0,5116	0,5019	0,4933	0,4855
	0,4795	0,4712	0,4628	0,4564	0,4500
	0,4441	0,4373	0,4285	0,4181	0,4089
	0,3987	0,3898	0,3790	0,3656	0,3503
	0,3310	0,3130	0,2941	0,2745	0,2518
	0,2282	0,2057	0,1836	0,1633	0,1414
B	0,5218	0,5282	0,5357	0,5426	0,5473
	0,5513	0,5530	0,5548	0,5563	0,5570
	0,5566	0,5574	0,5594	0,5602	0,5602
	0,5594	0,5576	0,5505	0,5416	0,5358
	0,5296	0,5267	0,5231	0,5181	0,5133
	0,5087	0,5037	0,4989	0,4962	0,4918

Tab. (9a) AML_1

A	0,7029	0,7008	0,7007	0,6996	0,6998
	0,6999	0,6999	0,7018	0,7022	0,7005
	0,6984	0,6980	0,6968	0,6968	0,6968
	0,6925	0,6854	0,6757	0,6670	0,6593
	0,6511	0,6414	0,6286	0,6164	0,6034
	0,5893	0,5712	0,5532	0,5336	0,5140
B	0,7029	0,7004	0,6989	0,6959	0,6902
	0,6841	0,6780	0,6721	0,6668	0,6616
	0,6552	0,6465	0,6377	0,6248	0,6104
	0,5935	0,5751	0,5575	0,5394	0,5225
	0,5066	0,4884	0,4733	0,4560	0,4397
	0,4228	0,4056	0,3893	0,3760	0,3620

Tab. (10a) AML_2
Kreuz - Korrelationstest: Berechnung der Prokukt - Moment - Korrelation in Epochen - Schritten in den A: negativen Bereich und B: positiven Bereich vom Ausgangspunkt aus (erster Zahlenwert).
Zahlenwerte sind von links nacht rechts zu lesen.
Der Kreuz - Korrelationstest ist durchgeführt worden mit Daten der zeitlichen Verteilung von REM- Episoden und Bewegungsdaten über alle Nächte einer Versuchsperson.

A	0,3790	0,3818	0,3846	0,3856	0,3841
	0,3809	0,3788	0,3766	0,3755	0,3739
	0,3758	0,3769	0,3799	0,3832	0,3885
	0,3924	0,3975	0,4010	0,4069	0,4125
	0,4165	0,4190	0,4227	0,4245	0,4241
	0,4236	0,4230	0,4199	0,4172	0,4130
B	0,3790	0,3716	0,3630	0,3512	0,3398
	0,3277	0,3145	0,2994	0,2844	0,2698
	0,2563	0,2447	0,2349	0,2260	0,2190
	0,2138	0,2089	0,2072	0,2074	0,2079
	0,2092	0,2103	0,2131	0,2150	0,2149
	0,2160	0,2141	0,2111	0,2080	0,2047

Tab. (11) KEL

A	0,5933	0,5931	0,5935	0,5943	0,5942
	0,5945	0,5944	0,5930	0,5917	0,5897
	0,5880	0,5865	0,5836	0,5819	0,5799
	0,5787	0,5771	0,5747	0,5723	0,5689
	0,5648	0,5603	0,5567	0,5527	0,5494
	0,5461	0,5429	0,5399	0,5371	0,5339
B	0,5933	0,5916	0,5899	0,5880	0,5850
	0,5830	0,5795	0,5742	0,5700	0,5646
	0,5607	0,5569	0,5529	0,5493	0,5432
	0,5370	0,5304	0,5224	0,5149	0,5068
	0,4990	0,4990	0,4818	0,4721	0,4625
	0,4502	0,4385	0,4272	0,4176	0,4082

Tab. (12) KUL

Kreuz - Korrelationstest: Berechnung der Produkt - Moment - Korrelation in Epochen - Schritten in den A: negativen Bereich und B: positiven Bereich vom Ausgangspunkt aus (erster Zahlenwert).
Zahlenwerte sind von links nach rechts zu lesen.

Der Kreuz - Korrelationstest ist durchgeführt worden mit Daten der zeitlichen Verteilung von REM - Episoden und Bewegungsdaten über alle Nächte einer Versuchsperson.

AML_1

Nacht	W	MT	REM	1	2	3	4	SEI %
1	4,18	0,84	16,88	4,04	48,68	3,07	22,32	96,89
2	2,21	1,06	21,56	3,08	55,53	3,46	13,09	95,41
3	4,00	0,91	21,00	2,63	47,03	4,79	19,63	98,43
4	0,11	1,02	18,41	4,32	54,43	7,16	14,55	98,57
5	0	1,15	28,19	1,96	53,39	4,60	10,70	98,97
6	0,12	1,21	20,65	3,86	54,11	6,52	13,53	97,53
7	0,35	1,16	31,24	2,09	45,41	3,72	16,03	97,62
8	1,41	1,28	27.02	3,20	47,76	3,33	16,01	96,18

Tab. (13a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

AML_2

Nacht	W	MT	REM	1	2	3	4	SEI %
1	0	0,91	27,75	1,70	50,62	4,42	14,61	98,88
2	0	1,01	28,91	3,15	51,18	4,27	11,47	98,78
3	0,34	1,02	27,95	5,57	18,41	5,23	11,48	79,89
4	0,11	1,15	24,54	4,82	50,11	6,31	12,96	96,89
5	0,23	0,57	19,46	4,86	55,09	6,33	13,46	89,33
6	0,68	1,59	22,45	3,85	57,03	3,29	11,11	98,11
7	1,74	0.70	22,18	4,99	47,62	7,90	14,87	98,06
8	4,10	0,68	18,93	4,45	49,60	5,13	17,10	98,21
9	0,69	1,15	25,11	5,50	49,08	3,10	15,37	97,0
10	0,68	1,47	15,45	5,86	58,74	1,92	15,90	98,45
11	0,11	0,67	20,20	5,27	52,75	7,30	13,69	99,0
12	2,16	0,80	21,36	2,95	54,43	3,18	15,45	89,0
13	0,35	1,15	24,74	4,26	53,51	3,45	12,54	79,2
14	0,91	0,57	27,17	4,00	48,63	5,14	13,58	97,33

Tab. (14a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

DHL_1

Nacht	W	MT	REM	1	2	3	SEI %
1	2,51	1,71	17,08	4,44	30,87	23,12	96,95
2	2,23	1,48	21,85	5,94	41,99	21,31	98,33
3	3,40	1,64	22,04	8,22	33,55	19,41	95,80
4	5,45	1,07	22,35	5,78	33,05	22,67	97,50
5	3,21	1,71	20,94	6,41	40,49	17,63	97,60
6	1,32	1,76	18,50	6,94	43,06	24,01	94,88
7	1,61	1,93	23,37	7,72	38,05	21,01	97,19
8	19,66	0,91	16,93	2,73	26,93	21,36	91,76
9	0,42	1,89	21,07	5,45	37,84	16,67	99,58
10	8,01	1,32	16,68	6,04	42,26	17,89	94,99
11	3,06	1,58	21,94	6,01	52,95	13,50	98,85

Tab. (15a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

DHL_2

Nacht	W	MT	REM	1	2	3	4	SEI
1	9,20	1,45	17,27	6,62	39,30	18,20	7,96	97,58
2	1,51	1,31	26,59	6,95	47,53	14,30	1,81	99,00
3	0,39	1,47	22,72	6,17	36,73	23,11	1,40	99,32
4	1,24	1,47	25,90	7,69	48,76	13,35	1,58	98,33
5	8,03	1,80	17,97	6,55	43,87	15,96	5,81	99,06
6	0,96	1,49	21,81	6,28	42,77	15,74	10,96	97,38
7	1,12	1,34	22,82	8,05	44,52	20,36	1,79	96,96
8	3,58	1,89	20,45	8,39	49,86	12,35	3,49	98,79
9	4,65	1,95	19,26	8,12	39,94	17,42	8,66	97,67
10	0,54	1,72	19,57	5,38	42,37	21,51	8,92	96,67

Tab. (16a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

KUL

Nacht	W	MT	REM	1	2	3	4	SEI	%
1	0,3	1,24	24,5	3,8	53,6	6,9	9,3	98,46	
2	0,1	1,68	25,3	6,7	51,3	8,4	7,3	96,25	
3	0,1	1,23	25,3	7,1	49,3	7,9	9,3	99,21	
4	1,7	1,35	25,5	8,0	48,6	5,8	7,6	98,43	
5	1,1	1,67	22,1	7,2	54,3	5,6	8,6	99,12	
6	0,5	1,43	22,1	11,7	50,9	8,1	10,8	96,73	
7	1,1	0,96	21,2	8,7	51,9	9,0	6,7	98,22	
8	0,1	1,22	23,1	6,9	49,9	8,0	10,6	99,54	
9	0,0	0,87	23,0	11,8	51,4	8,7	4,6	95,31	
10	0,3	1,75	17,2	9,1	52,4	9,6	9,1	98,78	
11	0,2	1,61	17,2	6,2	56,0	8,7	10,3	99,21	
12	3,2	1,67	18,4	11,8	50,3	5,8	9,1	99,37	
13	0,0	1,78	23,0	6,2	51,4	8,7	4,6	97,59	
14	0,2	1,14	19,8	8,7	50,1	8,1	11,9	98,32	
15	0,5	1,25	18,1	10,6	48,3	6,9	14,3	95,96	
16	2,4	1,37	20,9	8,0	52,4	7,2	7,6	98,56	
17	0,1	1,19	18,6	7,7	53,9	8,0	10,4	98,21	
18	0,3	1,46	19,8	9,0	51,9	4,6	13,0	98,89	
19	0,9	1,52	24,9	8,6	47,9	6,1	10,2	97,76	
20	1,5	1,68	20,1	9,0	55,7	4,6	6,8	98,41	
21	2,5	0,79	25,3	7,6	49,7	6,5	5,7	99,03	
22	1,1	1,72	21,8	9,6	50,7	4,4	10,8	98,79	
23	0,5	1,68	18,3	9,0	47,3	7,8	15,1	99,01	

Tab. (17a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

KEL_3

Nacht		W	MT	REM	1	2	3	4	SEI
1		0,26	1,42	22,68	1,42	52,58	11,08	10,57	98,48
2		0,42	1,35	25,49	1,66	49,12	12,49	9,47	99,38
3		0,50	1,75	21,30	3,63	50,50	12,53	9,77	98,52
4		0,76	0,86	21,60	2,48	53,02	12,20	9,07	99,14
5		0,67	1,33	26,19	1,44	51,61	13,21	5,55	98,69
9	6	8,43	1,67	20,49	3,82	49,22	8,63	7,75	98,65
10	7	0,38	1,25	22,38	3,38	50,75	12,75	9,3	99,01
11	8	0,69	1,60	22,79	3,55	50,74	12,03	8,59	98,79
12	9	0,33	1,31	24,73	4,38	50,33	11,16	7,77	96,41
13	10	0,47	1,65	25,03	5,52	48,41	8,81	10,11	95,73
14	11	1,69	1,69	23,62	2,15	48,25	10,06	12,54	99,33

Tab. (18a)
Prozentuale Angaben der im Stadium 1 - 4, REM und WACH verbrachten Zeit pro Nacht.
SEI: sleep efficiency index

DHL_1

Nacht	Chi-Test	Irrtumsw.		W	REM	1	2	3	4 %
2	11,462	0,0007		2,23	21,85	5,94	41,99	21,31	5,20
3	8,929	0,0028	sign.	3,40	22,04	8,22	33,55	19,41	11,73
1	8,912	0,0028		2,51	17,08	4,44	30,87	23,12	20,27
9	4,762	0,0291		0,42	21,07	5,45	37,84	16,67	16,67
10	4,592	0,0321		8,01	16,68	6,04	42,26	17,89	7,79
7	3,654	0,0559		1,32	23,37	7,72	38,05	21,01	6,32
4	3,327	0,0682	n.sign.	5,45	22,35	5,78	33,05	22,67	7,63
11	2,106	0,1467		3,06	21,94	6,01	52,95	13,50	0,95
8	1,078	0,2992		19,66	16,93	2,73	26,93	21,36	11,48
5	0,067	0,7953		3,21	20,94	6,41	40,49	17,63	9,62
6	0,024	0,8758		1,32	18,50	6,49	43,06	24,01	4,41

Tab. (19a)

DHL_2

Nacht	Chi-Test	Irrtumsw.	W	REM	1	2	3	4 %
3	12,614	0,0004	0,39	22,72	6,17	36,73	23,11	9,40
1	7,711	0,0055	1,20	17,72	6,62	39,30	18,20	7,96
2	5,543	0,0186	1,51	26,59	6,95	47,53	14,30	1,81
10	3,875	0,0490	0,54	19,57	5,38	42,37	21,51	8,92
4	1,071	0,3007	1,24	25,90	7,69	48,76	13,35	1,58
8	0,398	0,5282	3,58	20,45	8,39	49,86	12,35	3,49
5	0,343	0,5580	8,03	17,97	6,55	43,87	15,96	5,81
9	0,276	0,5992	4,65	19,26	8,12	39,94	17,42	8,66
7	0,089	0,7654	1,12	22,82	8,05	44,52	20,36	1,79
6	0,079	0,7782	0,96	21,81	6,28	42,77	15,74	10,96

Tab. (20a)
Durchschnittlicher Zeitanteil der einzelnen Schlafstadien und Stadium WACH am Gesamtschlaf. Die Nächte sind nach Höhe des Qui - Quadrat - Wertes geordnet (Korrelation von Bewegung und REM - Episoden). Alle Nächte oberhalb der durchgezogenen Linie weisen eine signifikante Korrelation beider Parameter auf ($r <= 0.05$). Bei Nächten unterhalb der Linie liegt das Signifikanzniveau oberhalb von $r <= 0.05$. Alle Angaben sind in Prozent.

AML_1

Nacht	Chi-Wert	Irrtumsw.	W	REM	1	2	3	4
10	17,763	0,0000	0,11	22,87	3,30	55,18	7,17	10,47
11	15,937	0,0001	1,26	23,11	3,91	46,09	8,21	16,41
8	15,371	0,0001	1,41	27,02	3,20	47,67	3,33	16,01
14	10,315	0,0013	0,47	22,09	3,37	50,70	5,35	16,98
13	9,825	0,0017	1,27	25,48	3,49	51,34	6,50	10,83
12	8,991	0,0027	0,24	27,62	2,17	45,84	6,39	16,53
11	7,474	0,0063	1,26	23,11	3,91	46,09	8,21	16,41
9	0,843	0,3584	1,95	22,57	2,57	52,00	2,75	16,61

Tab. (21a)

AML_2

Nacht	Chi-Wert	Irrtumsw.	W	REM	1	2	3	4
14	22,944	0,0000	0,91	27,17	4,00	48,63	5,14	13,58
5	21,719	0,0000	0,23	19,46	4,86	55,09	6,33	13,46
12	20,861	0,0000	2,16	21,36	2,95	54,43	3,18	15,45
2	20,799	0,0000	0	28,91	3,15	51,18	4,27	11,47
6	17,802	0,0000	0,68	22,45	3,85	57,03	3,29	11,11
11	17,138	0,0000	0,11	20,20	5,27	52,75	7,30	13,69
10	14,119	0,0002	0,68	15,45	5,86	58,74	1,92	15,90
9	13,062	0,0003	0,69	25,11	5,50	49,08	3,10	15,37
1	11,966	0,0005	0	27,75	1,70	50,62	4,42	16,61
4	11,731	0,0006	0,11	24,54	4,82	50,11	6,31	12,69
13	10,236	0,0014	0,35	24,74	4,26	53,51	3,45	12,54
7	10,028	0,0015	1,74	22,18	4,99	47,62	7,90	14,87
3	8,610	0,0033	0,34	27,95	5,57	48,41	5,23	11,48
8	5,896	0,0153	4,10	18,93	4,45	49,60	5,13	17,10

Tab. (22a)

KUL

Nacht	Chi²	Irrtumswahrscheinlichkeit	Wach	REM	Stadium 1	2	3	4
1 (4)	23,232	0,0000	0,3	24,5	3,8	53,6	6,9	9,3
2 (5)	10,506	0,0012	0,1	25,3	6,7	51,3	8,4	7,3
5 (8)	10,101	0,0015	1,1	22,1	7,2	54,3	5,6	8,6
13 (18)	9,600	0,0019	0,0	23,0	10,8	51,4	8,7	4,6
19 (25)	9,273	0,0023	0,9	24,9	3,6	47,9	6,1	10,2
14 (19)	8,540	0,0035	0,2	19,8	8,7	50,1	8,1	11,9
23 (29)	8,530	0,0043	0,5	18,3	9,0	47,3	7,8	15,1
21 (27)	7,630	0,0057	2,5	25,3	7,6	49,7	6,5	5,7
22 (28)	7,438	0,0064	1,1	21,8	9,6	50,7	4,4	10,8
6 (10)	7,385	0,0066	0,5	22,1	11,7	50,9	8,1	5,7
10 (15)	6,933	0,0085	0,3	17,2	9,1	52,4	9,6	9,1
9 (13)	6,287	0,0122	0,0	23,0	10,8	51,4	8,7	4,6
12 (17)	5,747	0,0165	3,2	18,4	11,8	50,3	5,8	9,1
8 (12)	4,827	0,0280	0,1	23,1	6,9	49,9	8,0	10,6
3 (6)	4,758	0,0292	0,1	25,3	7,1	49,3	7,9	9,3
17 (22)	4,088	0,0432	0,1	18,6	7,7	53,9	8,0	10,4
4 (7)	3,818	0,0507	1,7	25,5	8,0	48,6	5,8	7,6
18 (23)	3,755	0,0527	0,3	19,8	9,0	51,9	4,6	13,0
15 (20)	2,911	0,0880	0,5	18,1	10,6	48,3	6,9	14,3
16 (21)	0,982	0,3216	2,4	20,9	8,0	52,4	7,2	7,6
7 (14)	0,271	0,6025	1,1	21,2	8,7	51,9	9,0	6,7
11 (16)	0,210	0,6464	0,2	17,2	6,2	56,0	8,7	10,3
20 (26)	0,165	0,6846	1,5	20,1	9,0	55,7	4,6	6,8

Tab. (23a)

Nacht		Chi-Test	Irrtumsw.	W	REM	1	2	3	4
3	1	17,584	0,0000	0,50	21,30	3,63	50,50	12,53	9,77
7	2	13,639	0,0002	0,38	22,38	3,38	50,75	12,75	9,13
8	3	10,947	0,0009	0,69	22,74	3,55	50,74	12,03	8,59
10	4	8,677	0,0032	0,47	25,03	5,52	48,41	8,81	10,11
4	5	5,006	0,0253	0 76	21,60	2,48	53,02	12,20	9,07
9		2,782	0,0953	0,33	24,73	4,38	50,33	11,16	7,77
5		2,414	0,1203	0,67	26,19	1,44	51,61	13,21	5,55
6		2,161	0,1415	8,43	20,49	3,82	49,22	8,63	7,75
1		1,427	0,2322	0,26	22,68	1,42	52,58	11,08	10,57
11		1,329	0,2489	1,69	23,62	2,15	48,25	10,06	12,54
2		0,380	0,5378	0,42	25,49	1,66	49,12	12,49	9,47

Tab. (24a)

AML_1

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM −	BW − REM +	BW − REM −	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	17	7	6	26	15,371	.0001	+
2	6	6	13	24	0,843	.3584	−
3	12	4	6	32	17,763	.0000	+
4	11	4	7	34	15,937	.0001	+
5	10	5	9	26	7,474	.0063	+
6	11	5	8	25	8,991	.0027	+
7	13	11	4	25	9,825	.0017	+
8	11	8	6	31	10,315	.0013	+
insgesamt	91	50	59	223	78,139	.0000	+

Tab. (25a) Darstellung des Vierfeldertests (die ersten vier Spalten geben jeweils die Anzahl der Intervalle wieder, die unter den in der ersten Zeile angegebenen Bedingungen berechnet wurden). Spalte 5 + 6 geben den Qui - Quadrat - Wert mit zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeit wieder. Die Signifikanzschwelle liegt bei $p \leq 0{,}05$.

AML_2

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM −	BW − REM +	BW − REM −	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	12	6	8	32	11,966	.0005	+
2	15	4	7	33	20,799	.0000	+
3	13	7	10	29	8,610	.0033	+
4	13	6	8	29	11,731	.0006	+
5	13	8	2	34	21,719	.0000	+
6	12	9	3	36	17,802	.0000	+
7	12	10	5	29	10,028	.0015	+
8	8	7	9	35	5,896	.0152	+
9	13	7	7	32	13,062	.0003	+
10	10	11	2	34	14,119	.0002	+
11	14	5	7	32	17,183	.0000	+
12	13	4	6	35	20,861	.0000	+
13	13	11	5	29	10,236	.0014	+
14	13	8	3	30	22,944	.0000	+
insgesamt	174	103	82	457	192,571	.0000	+

Tab. (26a)

KUL

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM -	BW - REM +	BW - REM -	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	17	7	4	33	23,232	.0000	+
2	11	6	9	34	10,506	.0012	+
3	9	7	13	36	4,758	.0292	+
4	14	9	17	33	3,818	.0507	-
5	15	7	11	33	10,101	.0015	+
6	13	12	6	27	7,385	.0066	+
7	6	10	14	32	0,271	.0025	-
8	9	8	11	35	4,827	.0280	+
9	11	7	11	30	6,287	.0122	+
10	10	11	6	32	6,933	.0058	+
11	4	11	9	34	0,210	.6464	-
12	12	12	9	33	5,747	.0165	+
13	12	8	8	32	9,600	.0019	+
14	12	13	5	31	8,540	.0035	+
15	9	13	8	31	2,911	.0880	-
16	7	14	7	26	0,982	.3218	-
17	8	9	8	31	4,088	.0432	+
18	10	12	9	32	3,755	.0527	-
19	13	9	8	31	1,273	.0023	+
20	9	15	11	23	0,165	.6846	-
21	11	13	6	35	7,630	.0057	+
22	11	8	14	44	7,438	.0064	+
23	11	11	5	29	8,153	.0043	+
insgesamt	244	232	209	737	124,101	.0000	+

Tab. (27a)

KEL

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM -	BW - REM +	BW - REM -	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	8	17	5	23	1,427	.2322	-
2	8	14	10	25	0,380	.5378	-
3	11	8	3	36	17,584	.0000	+
4	11	18	4	27	5,006	.0253	+
5	8	11	9	31	2,415	.1203	-
6	9	14	10	35	2,161	.1415	-
7	10	8	4	35	13,639	.0002	+
8	10	6	7	33	10,947	.0009	+
9	8	11	9	33	2,782	.0953	-
10	10	8	7	33	8,677	.0032	+
11	7	13	8	30	1,329	.2489	-
insgesamt	100	128	128	341	48,819	.0000	+

Tab. (28a)

DHL_1

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM −	BW − REM +	BW − REM −	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	7	6	6	37	8,912	.0028	+
2	11	7	8	37	11,462	.0007	+
3	11	9	7	33	8,929	.0028	+
4	9	8	13	33	3,327	.0682	−
5	5	14	10	33	0,067	.7953	−
6	5	10	16	29	0,024	.8758	−
7	9	9	11	33	3,654	.0559	−
8	3	9	21	30	1,078	.2992	−
9	8	9	9	37	4,762	.0291	+
insgesamt	68	80	101	302	20,202	.0000	+

Tab. (29a)

DHL_2

Nacht Nr.	BW + REM +	BW + REM −	BW − REM +	BW − REM −	Chi-Quadrat	p	Signifikanz
1	11	10	8	35	7,711	.0055	+
2	13	11	10	30	5,543	.0186	+
3	11	7	8	40	12,614	.0004	+
4	3	9	17	24	1,071	.3007	−
5	6	13	10	31	0,343	.5580	−
6	4	8	14	34	0,079	.7782	−
7	6	10	14	28	0,089	.7654	−
8	7	10	14	29	0,398	.5282	−
9	7	12	12	28	0,276	.5992	−
10	9	9	11	34	3,875	.0490	+
insgesamt	77	99	118	313	15,362	.0001	+

Tab. (30a)

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Minuten summiert

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
249	70	83	63	60	51	36	37	29	24	6	10	6	5	3	0	0	0	0	graphie	Anzahl der Intervalle
5	29	45	31	37	34	23	17	10	9	1	5	2	2	1	0	0	0	0	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
2	42	54	49	62	67	64	46	34	38	17	50	33	40	33	0	0	0	0	graph	Prozent

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Min. summiert + gewichtet

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
249	31	46	37	47	45	44	48	39	37	31	15	16	10	10	3	4	0	0	graphie	Anzahl der Intervalle
5	3	17	17	21	31	24	30	22	23	14	13	9	7	10	2	4	0	0	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
2	10	37	46	45	68	55	63	57	62	45	87	57	70	100	67	100	0	0	graph	Prozent

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Min. summiert + gewichtet (ohne BW der Klasse 1)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
394	0	77	20	61	34	45	14	35	9	15	4	8	2	1	1	1	0	0	graphie	Anzahl der Intervalle
13	0	29	17	42	30	33	11	33	9	13	4	8	2	1	1	1	0	0	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
3	0	37	85	69	88	74	78	94	100	87	100	100	100	100	100	100	0	0	graph	Prozent

Tab. (31a)

Vergleich von polygraphisch aufgezeichneten Bewegungen und durch einen empfindlichen ambulanten Bewegungsmesser aufgezeichnete Bewegungsdaten. N = 12 Nächte der Versuchsperson AML_2. Die erste Zeile zeigt jeweils die Bewegungsdichte pro Intervall der polygraphischen Aufzeichnung an. Die Zweite Zeile gibt die Häufigkeit an, mit der diese Intervalle gemäß der Bewegungsintensität auftraten. Die dreitte Zeile gibt die Anzahl der Intervalle wieder, bei der auch der ambulante Bewegungsmesser Bewegung anzeigte, die vierte Zeile gibt diese Häufgikeit in Prozent an.

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Min. summiert

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
188	84	74	64	61	40	40	21	13	13	9	5	0	1	1	0	0	0	0	graphie	Anzahl der Intervalle
1	13	22	21	32	23	33	16	12	10	8	5	0	1	1	0	0	0	0	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
0,5	15	30	33	52	58	83	72	92	77	89	100	0	100	100	0	0	0	0	graph	Prozent

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Min. summiert + gewichtet

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
188	20	60	36	36	44	45	35	30	32	17	24	10	13	10	1	5	4	2	graphie	Anzahl der Intervalle
1	1	8	9	12	17	13	21	15	25	16	21	8	11	10	1	5	4	2	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
0,5	5	13	25	33	39	29	60	47	78	94	88	80	85	100	100	100	100	100	graph	Prozent

Bewegungen (polygr. def.) pro Epoche über 7,5 Min. summiert + gewichtet (ohne BW der Klasse 1)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Poly-	BW-Dichte/Intervall
230	0	78	20	65	38	54	26	37	15	14	4	11	3	2	5	1	0	2	graphie	Anzahl der Intervalle
4	0	11	9	20	24	33	19	28	13	13	4	11	3	2	5	1	0	2	Akto-	Anz. d. Interv. mit Bew.
2	0	14	45	31	63	61	73	76	87	93	100	100	100	100	100	100	100	100	graph	Prozent

Tab. (32a)

Vergleich von polygraphisch aufgezeichneten Bewegungen und durch einen weniger empfindlichen ambulanten Bewegungsmesser aufgezeichnete Bewegungsdaten. N = 12 Nächte der Versuchsperson KUL. Weitere Hinweise siehe Tab. (31a).

Herrn Prof. Dr. Pöppel danke ich für die Annahme der Arbeit.
Mein desonderer Dank gilt Herrn Dr. Schulz für die Überlassung des Themas und für die jederzeit entgegenkommende und freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.
Weiterhin danke ich Frau Wilde-Frenz für die stetige Diskussionsbereitschaft.
Frau Bär danke ich für die Auswertung der Schlafableitungen.

Lebenslauf

Heinrich Karl Alfred Theodor Leuthold
geboren am 11.08.1954 in Recklinghausen

Eltern: Dr. Heinrich Leuthold, Arzt
Dr. Gisela Leuthold, geb.Spiller Ärztin

1961	Schuleintritt in die Volksschule Pantringshof in Herne
1965	Übertritt auf das Pestalozzi-Gymnasium in Herne
1971	Schulwechsel auf das Gymnasium 'Steinmühle' in Marburg,
1974	dort Abitur
1975-77	Ausbildung als med.techn.Laboratotiumsassistent an der MTA-Schule in Recklinghausen
1977-78	Tätigkeit als MTA im Labor des Kreiskrankenhauses 'Ziegenhain' in Schwamstadt
1978-79	Tätigkeit als MTA im Labor des St.Joseph-Krankenhauses in Essen-Kupferdreh
WS 1979-80	Beginn des Medizinstudiums an der Ludwig Maximilians-Universität in München
1985	Staatsexamen in der Medizin